Phys. g.
178 s (2  4°
Weber

# WILHELM WEBER'S WERKE

HERAUSGEGEBEN

VON DER

KÖNIGLICHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN

ZU

GÖTTINGEN

---

ZWEITER BAND

## MAGNETISMUS

BESORGT DURCH EDUARD RIECKE

---

MIT X TAFELN UND IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BERLIN
VERLAG VON JULIUS SPRINGER
1892

160 D

Wilhelm Weber hat dem ihm wiederholt ausgesprochenen Verlangen nach einer Gesammtausgabe seiner Werke bei aller Bescheidenheit seiner Meinung über den Werth der eigenen Schriften schon im Jahre 1890 nachgegeben. Er hat dann seinerseits den lebhaften Wunsch ausgesprochen, dass die Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, welche die Herausgabe der Werke seines grossen Freundes Gauss besorgt hat, auch seine Werke herausgebe. Die Erfüllung dieses Wunsches, welchem sich seine Verwandten gern anschlossen, hat sich die Königl. Gesellschaft durch die unterzeichnete Kommission beeifert in Angriff zu nehmen und ist zu dem Zwecke mit Herrn Professor Heinrich Weber in Braunschweig und Herrn Professor Wilhelm Braune in Leipzig als den Vertretern der Familie Wilhelm Weber's in Verbindung getreten.

Zunächst hat dieselbe an Herrn Julius Springer in Berlin einen Verleger gefunden, welcher diesem wissenschaftlichen Unternehmen das volle Verständniss entgegenbringt, für eine würdige Ausstattung sorgen und einen, dem Wunsche nach ausgedehnter Verbreitung dieser so sehr lehrreichen Werke förderlichen, möglichst geringen Preis stellen wird.

Von den Erben von Ernst Heinrich Weber und von Eduard Weber sind die Autorrechte der von diesen zusammen mit ihrem Bruder Wilhelm Weber verfassten Werke an die *Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* übertragen worden. Die Verlagshandlungen der grösseren dieser Schriften, Herr Fr. Riehm in Basel für die 1825 erschienene *Wellenlehre,* und die Dieterich'sche Buchhandlung in Göttingen für die 1836 erschienene *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge,* haben ihre Genehmigung zum Abdruck der Schriften in den gesammelten Werken ertheilt.

Die Königlich Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften in Leipzig hat bereitwillig den Abdruck der in ihren Abhandlungen erschienenen

*Fortsetzung auf der dritten Umschlagseite.*

# WILHELM WEBER'S WERKE

HERAUSGEGEBEN

VON DER

KÖNIGLICHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN

ZU

GÖTTINGEN

ZWEITER BAND

MAGNETISMUS

BESORGT DURCH EDUARD RIECKE

MIT X TAFELN UND IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

Bayerische
Staatsbibliothek
München

BERLIN
VERLAG VON JULIUS SPRINGER
1892

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

# Vorwort zum zweiten Bande.

---

Der zweite Band von Wilhelm Weber's Werken enthält seine Arbeiten auf dem Gebiete des Magnetismus. Für die Erforschung des Erdmagnetismus hatte Gauss neue Beobachtungsmittel von hoher Vollkommenheit ersonnen, er hatte gezeigt, wie man die Stärke des Erdmagnetismus unabhängig von der veränderlichen Stärke der schwingenden Magnetnadel in den allgemeinen Einheiten der Länge, der Masse und der Zeit ausdrücken kann. An der weiteren Verfolgung der damit eröffneten Bahn nahm Weber nach seiner Berufung auf den Lehrstuhl der Physik in Göttingen einen eifrigen und erfolgreichen Antheil. Er vereinigte sich mit Gauss in der Herausgabe der „Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins", von welchen 6 Jahrgänge von 1836—1841 erschienen. Diese sollten nicht blos die korrespondirenden Beobachtungen der zahlreichen Orte, die dem magnetischen Vereine beigetreten waren, ihre graphischen Darstellungen und die daran sich knüpfenden Erläuterungen enthalten; sie sollten zugleich alle Arbeiten, welche auf das weite Gebiet des Erdmagnetismus sich bezogen, aufnehmen und dadurch zu neuen Fortschritten der Wissenschaft die Anregung geben. Die Bedeutung dessen, was Gauss und Weber in dem Jahrzehnt ihrer gemeinsamen Arbeit geschaffen haben, geht in der That über das zunächst verfolgte Ziel weit hinaus. Ein grosser Theil unserer jetzigen Beobachtungskunst hat sich an den von ihnen behandelten Problemen entwickelt und es ist vor Allem Weber's Verdienst, die strengen von Gauss eingeführten Principien auf die Messungen des Galvanismus ausgedehnt zu haben. Den grösseren Theil der in dem vorliegenden zweiten Bande der Werke vereinigten Abhandlungen bilden die Beiträge Weber's zu den Resultaten. Den unmittelbaren Zwecken des magnetischen Vereins dienen die Erläuterungen zu den Terminsbeobachtungen, welche für die vier letzten Jahrgänge von Weber verfasst wurden. Dieselben sind nur in Auszügen wieder-

gegeben, solche Bemerkungen enthaltend, welche die ganze Thätigkeit des Vereins charakterisiren oder sich auf wichtige Ergebnisse der Beobachtungen beziehen. Diesen Erläuterungen würden sich zunächst die Aufsätze anreihen, welche der Beschreibung des magnetischen Observatoriums von Göttingen und der darin aufgestellten Apparate gewidmet sind. Sie besitzen nicht nur ein grosses historisches Interesse, sondern haben noch jetzt durch die in ihnen enthaltenen Theorien der Instrumente, ihrer Fehler und Korrektionen eine unmittelbare, praktische Bedeutung. Mit grossem Erfolge hat sich Weber bemüht, kompendiöse und doch einen hohen Grad von Genauigkeit gewährende Instrumente zur Bestimmung der Elemente des Erdmagnetismus auf Reisen zu konstruiren. Der Beschreibung dieser Apparate, deren wir uns zum Theil noch heute in kaum veränderter Form bedienen, sowie der Darstellung der mit ihnen ausgeführten Beobachtungen sind mehrere Aufsätze gewidmet.

Die Anforderungen und Erfahrungen, welche sich bei diesen Arbeiten ergaben, führten mit Nothwendigkeit zu Fragen von allgemeinerer Bedeutung. Hierher gehört die Untersuchung über die Abhängigkeit des Stabmagnetismus von der Temperatur, deren Ergebnisse seitdem bestätigt, aber kaum erweitert worden sind. Von den Abhandlungen, welche sich auf die Lehre vom inducirten Magnetismus beziehen (IX, XX und XXIII dieses Bandes) dürfen wir die erste als den Vorläufer der Untersuchungen betrachten, welche in der XXVIII. Abhandlung dieses Bandes und in der dritten Abhandlung über elektrodynamische Maassbestimmungen niedergelegt sind. Zu allgemeinen Ergebnissen führt jene frühere Arbeit um so weniger, als Weber bei ihrer Abfassung die Gesichtspunkte der Poisson'schen Theorie nicht gekannt zu haben scheint. In der zweiten Abhandlung werden Wirkungen der Koërcitivkraft beschrieben, welche mit den neuerdings als „Hysteresis“ bezeichneten in nahem Zusammenhange stehen. In der Leipziger Einladungsschrift werden die magnetischen Eigenschaften des Stahles durch die Annahme erklärt, dass er aus Theilen von grösserer und kleinerer Koërcitivkraft zusammengesetzt sei. Die Abhandlung über magnetische Reibung enthält noch heute beinahe Alles, was wir über diesen Gegenstand wissen.

Ein ganz besonderes Interesse knüpft sich an die Abhandlungen aus dem Gebiete der Magnetelektricität, nicht blos vermöge ihrer eigenen Bedeutung, sondern auch wegen ihrer Beziehungen zu den elektrodynamischen Maassbestimmungen. Sie bilden die Brücke vom Magnetismus zu der Elektrodynamik, dem Gebiete, welchem Weber durch eine Reihe epochemachender, wahrhaft klassischer Arbeiten eine neue Gestalt gegeben hat. Einzelne von den hierher gehörenden Abhand-

lungen können an sich mit demselben Rechte zum Galvanismus oder zu der Elektrodynamik gerechnet werden; sie haben in dem vorliegenden Bande Aufnahme gefunden wegen der nahen Beziehungen zu anderen von rein magnetischem Inhalte.

Die Abhandlung über unipolare Induktion bildet den Ausgangspunkt einer eigenen, umfangreichen Literatur und zahlreicher Kontroversen. Weber selbst hat zu diesen den Anlass gegeben. Er hatte die Erscheinung zuerst mit Hülfe einer eigenartigen Vorstellung erklärt, welche aber an die Voraussetzung einer realen Existenz der magnetischen Flüssigkeiten gebunden war; er hat später in einer Note zu der dritten Abhandlung über elektrodynamische Maassbestimmungen den Widerspruch seiner Theorie mit den Gesetzen der Elektrodynamik und die Möglichkeit einer anderen Erklärung hervorgehoben, jedoch ohne diese selbst zu entwickeln. Die erste Anwendung der Magnetinduktion auf die Messung galvanischer Widerstände finden wir in der siebenten Abhandlung des vorliegenden Bandes. Das von Weber schon im Jahre 1837 beschriebene Induktionsinklinatorium ist auch deshalb von Interesse, weil das der Konstruktion zu Grunde liegende sinnreiche Princip später bei einer der Weber'schen Methoden absoluter Widerstandsmessung Verwendung fand; und als er später dem Erdinduktor die Form gab, in welcher er seitdem als eines der wichtigsten Instrumente des Physikers im Wesentlichen unverändert sich erhielt, so hat er in der Abhandlung über die neue Methode der Messung sich nicht auf die magnetischen Anwendungen beschränkt, sondern den wichtigen Nachweis hinzugefügt, wie man die Dämpfung als ein Maass für die Empfindlichkeit eines Multiplikators benützen kann, womit dann für die Fundamentalaufgabe der Galvanometrie, die absolute Widerstandsmessung, eine neue Lösung gewonnen war. Welche Bedeutung diese Arbeiten auch für die praktische Physik besitzen, daran braucht kaum erinnert zu werden. Dass Weber die Bedeutung der magnetelektrischen Kräfte auch nach dieser Richtung hin frühzeitig erkannte, ergiebt sich aus den Aufsätzen über den Rotationsinduktor und die magnetelektrischen Maschinen, welche man als Vorläufer unserer jetzt so ausgebreiteten elektrotechnischen Literatur nicht ohne Interesse betrachten wird.

Die Abhandlungen, welche wir im Vorhergehenden kurz zu charakterisiren versuchten, sind in dem vorliegenden Bande, von zwei durch den Zusammenhang gebotenen Umstellungen abgesehen, in chronologischer Folge gedruckt, eine Scheidung in einzelne Gruppen schien bei den vielfachen zwischen ihnen vorhandenen Beziehungen nicht zweckmässig. Ebenso wie in dem ersten Bande sind die Abhandlungen streng nach der ersten Veröffentlichung abgedruckt. Citate, welche auf eine Stelle

derselben Abhandlung hinweisen, sind dem neuen Abdruck gemäss geändert, Citate, welche sich auf andere Abhandlungen Weber's beziehen, in ihrer Form belassen. In dem letzteren Falle ist unter der Seite ein Hinweis auf die entsprechende Stelle der Gesammtausgabe hinzugefügt. In derselben Weise sind die häufigen Citate auf Abhandlungen von Gauss durch einen Hinweis auf die Gesammtausgabe von Gauss' Werken ergänzt. Diese wie alle sonstigen Zusätze des Herausgebers sind durch eckige Klammern kenntlich gemacht.

*Göttingen*, im Juli 1892.

**Eduard Riecke.**

# Inhaltsverzeichniss des zweiten Bandes.


Seite

I. Bemerkungen über die Einrichtung magnetischer Observatorien und Beschreibung der darin aufzustellenden Instrumente. (1836) 1
Hierzu Tafel I, II, III.

II. Beschreibung eines kleinen Apparates zur Messung des Erdmagnetismus nach absolutem Maass für Reisende. (1836) . . . 20

III. Bemerkungen über die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilar-Magnetometers. (1837) . . . . . . . . . . . . . 43
Hierzu Tafel IV.

IV. Ueber den Einfluss der Temperatur auf den Stabmagnetismus. (1837) 58
Hierzu Tafel V, Fig. 1.

V. Das Induktions-Inklinatorium. (1837) . . . . . . . . . 75
Hierzu Tafel V, Fig. 2 und 3.

VI. Das transportable Magnetometer. (1838) . . . . . . . . 89
Hierzu Tafel VI, Fig. 1—5.

VII. Der Induktor zum Magnetometer. (1838) . . . . . . . . 105
Hierzu Tafel VI, Fig. 6 und 7.

VIII. Der Rotationsinduktor. (1838) . . . . . . . . . . . 119
Hierzu Tafel VII, Fig. 1—5.

IX. Beweglichkeit des Magnetismus im weichen Eisen. (1838) . . 132

X. Erläuterungen zu den Terminszeichnungen und den Beobachtungszahlen. (1838) . . . . . . . . . . . . . . . . 146
Hierzu Tafel VII, Fig. 6.

XI. Unipolare Induktion. (1839) . . . . . . . . . . . . 153
Hierzu Tafel VIII, Fig. 1—4.

XII. Unipolare Induktion. [Zusätze und Abänderungen.] (1841) . 176

XIII. Bemerkungen über die verschiedenen Miren, welche zur Prüfung des unverrückten Standes des Fernrohres dienen können. (1839) 180

XIV. Erläuterungen zu den Terminszeichnungen und den Beobachtungszahlen. (1839) . . . . . . . . . . . . . . . . 182
Hierzu Tafel VIII, Fig. 5 und 6.

XV. Vorschlag die Variationen des Stabmagnetismus beim Bifilar-Magnetometer unabhängig von der Kenntniss der Temperatur zu bestimmen. (1840) . . . . . . . . . . . . . . . 190

XVI. Ueber magnetische Friktion. (1840) . . . . . . . . . 200

Seite

XVII. Bemerkungen über magnetische Lokaleinflüsse in der Nähe von Göttingen. (1840) . . . . . . . . . . . . . . . 212

XVIII. Erläuterungen zu den Terminszeichnungen und den Beobachtungszahlen. (1840) . . . . . . . . . . . . . . . . . 218

XIX. Bemerkungen über die Wahl der Magnetnadeln zu Magnetometern. (1841) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 222

XX. Magnetisirung des Eisens durch die Erde. (1841) . . . . . 228

XXI. Erläuterungen zu den Terminszeichnungen und den Beobachtungszahlen. (1841) . . . . . . . . . . . . . . . . . 240

XXII. Bemerkungen über die Wirkungen eines Magnetes in die Ferne. (1842) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 242

XXIII. De natura chalybis magnetica. (1843) . . . . . . . . . 251

XXIV. Ueber das Maass der Wirksamkeit magneto-elektrischer Maschinen. (1844) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 260

XXV. Professor Wilhelm Weber to Colonel Sabine. (1845) . . . 274

XXVI. Ueber die Anwendung der magnetischen Induktion auf Messung der Inklination mit dem Magnetometer. (1853) . . . . . . 277
Hierzu Tafel IX.

XXVII. Ueber die Anwendung der magnetischen Induktion zur Messung der Inklination mit dem Magnetometer. [Anzeige in den Göttinger Nachrichten.] (1853) . . . . . . . . . . . . 328

XXVIII. Bestimmung der rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen in dem Zeitraume von 1834—1853. (1855) 333
Hierzu Tafel X.

XXIX. Bestimmung der rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen in dem Zeitraume von 1834—1853. [Anzeige in den Göttinger Nachrichten.] (1854) . . . . . 374

# MAGNETISMUS.

I.

# Bemerkungen über die Einrichtung magnetischer Observatorien und Beschreibung der darin aufzustellenden Instrumente.[1]

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1836, I, S. 13—33.]

Die Instrumente, mit welchen die magnetischen Beobachtungen angestellt werden, von denen in diesen Blättern die Rede sein wird, unterscheiden sich in sehr vielen Beziehungen von allen früheren und eine nähere Kenntniss ihrer Konstruktion ist zur Beurtheilung der mit ihnen gewonnenen Resultate unentbehrlich. Nun dürfte zwar hierzu dasjenige schon genügen, was in früheren Abhandlungen und Anzeigen zur Kenntniss des Publikums gebracht worden ist (in der Abhandlung: *Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata, auctore* C. F. Gauss. *Gottingae 1833;* ferner in den Göttingischen gelehrten Anzeigen 1832, S. 2041 ff., 1835, S. 345 ff. und in Schuhmacher's Jahrbuche 1836, S. 1[2]); jedoch wird eine vollständige und genaue Abbildung dieser Instrumente, wie sie hier gegeben wird, das Verständniss noch erleichtern und ausserdem den Vortheil bringen, dass jeder geschickte Mechanikus mit Sicherheit darnach arbeiten kann. Zur Abbildung, die hier vorgelegt wird, sind diejenigen Instrumente gewählt worden, welche auf ganz gleiche Weise für Bonn, Dublin, Freiberg, Greenwich, Kasan, Mailand, München, Neapel und Upsala vom Mechanikus Meyerstein in Göttingen ausgeführt worden sind, und mit denen auch der in Göttingen vom Mechanikus Apel und die in Krakau, Leipzig und Marburg vom Mechanikus Breithaupt in Kassel fast ganz übereinkommen. Die Beschreibung kleinerer Instrumente, welche an einigen Orten aufgestellt worden sind, soll hier übergangen werden, weil der Gebrauch dieser kleineren Instrumente sich als weniger zweckmässig erwiesen hat und nur durch Lokalverhältnisse, welche die Aufstellung eines grösseren Apparats hindern, zu

[1]) [Hierzu Tafel I, II, III.]

[2]) [Gauss' Werke, Bd. V, S. 79, 293, 528, 315.]

rechtfertigen ist. Eben so wird auch von grösseren Instrumenten nicht die Rede sein, weil sie, wenn sie allen Zwecken entsprechen sollen, ein verhältnissmässig grösseres Lokal fordern, wie solches bisher nirgends hergestellt worden ist.

Zur Aufstellung der magnetischen Instrumente eignet sich am besten ein länglich viereckiger *Saal*[1]), der nach der Richtung des magnetischen Meridians ungefähr 11 Meter Ausdehnung hat. Es ist nicht nothwendig, dass die Seitenwände dieser Richtung parallel seien, sie können auch einen Winkel damit machen, wie dies z. B. in Göttingen der Fall ist, wo der Saal nach dem astronomischen Meridian orientirt ist, der mit dem magnetischen gegenwärtig einen Winkel von $18^1/_2$ Grad macht. Dieser Saal muss helles Licht haben, vorzüglich von Osten und Westen her, und an demjenigen Ende, wo der Theodolith oder das Fernrohr nebst Skale zum Beobachten aufgestellt werden sollen. Uebrigens wird erfordert, dass der Saal vor Luftzug geschützt, wozu immer eine Doppelthür und bisweilen auch Doppelfenster nöthig sind, und dass ein festes Fundament vorhanden sei, auf welchem ein *Theodolith*[2]) und eine *Uhr*[3]) aufgestellt werden könne. Auch ist zu wünschen, dass von der Stelle des Theodolithen-Fernrohrs aus durch eines der Fenster ein entferntes Objekt zu sehen sei, dessen Azimuth bekannt ist oder genau bestimmt werden muss. Der Fussboden in der Nachbarschaft des Instruments, welches nahe der Mitte des Saales zu stehen kommt, darf gar kein Eisen enthalten, auch dürfen keine Eisen enthaltende Gegenstände darauf gebracht werden. Es ist selbst zu wünschen, dass das ganze Gebäude auch in seinen Seitenwänden und Dache kein Eisen enthalte; jedoch braucht man in dieser Vorsicht nicht so weit zu gehen, dass man eine Uhr mit stählernen Axen und einen Theodolithen mit stählernen Zapfen in einer Entfernung von 5 bis 6 Meter von dem Instrumente aufzustellen scheuete. Der Einfluss dieser Stahltheile, wenn sie magnetisch sind, lässt sich näherungsweise durch Rechnung ermitteln, und findet sich bei so grossen Entfernungen viel zu klein, um bemerkt zu werden. Ausser dem Umkreise des Saales haben kleine Eisenstücke noch weniger Einfluss. Sollten sich aber in der Nachbarschaft grosse Anhäufungen von Eisen, insbesondere sehr lange Eisenstangen, z. B. eiserne Geländer befinden, so wird ihr Einfluss zwar meist gering sein, jedoch nicht ganz vernachlässigt werden dürfen. Sind sie vom magnetischen Observatorio 100 oder mehrere 100 Fuss entfernt, so geben sie kein wesentliches Hinderniss ab, wenigstens wenn sie fest sind. Ein solches

---

[1]) Die hier vorkommenden Ziffern verweisen auf die nachfolgenden Bemerkungen über die einzelnen Theile des magnetischen Observatoriums und der magnetischen Instrumente.

Lokal ist für die Deklinations- und Intensitätsmessungen, sowie zur Beobachtung der Variationen genügend. Auch Inklinationsmessungen können in demselben Lokale vorgenommen werden, jedoch nicht ohne Unterbrechung der übrigen Beobachtungen. Daher es angemessen scheint, wo es die Verhältnisse gestatten, für die Inklinationsmessungen ein eigenes Lokal einzurichten, welches ohne Nachtheil dem ersteren ziemlich nahe sein kann. Wo keine absoluten Messungen gemacht, sondern blos die Deklinationsvariationen an den dazu verabredeten Terminen beobachtet werden sollen, genügt ein ähnlicher Saal, auch wenn er in und ausser seinen Wänden viel Eisen enthält, vorausgesetzt, dass alles dieses Eisenwerk während der Beobachtungen unverrückt bleibt. Der Saal des Göttingischen magnetischen Observatoriums ist Taf. I. abgebildet; der Grundriss des Gebäudes ist Taf. II. Fig. 1 und der Situationsplan desselben mit der nächsten Umgebung Taf. II. Fig. 2 dargestellt.

Zur Aufstellung der Instrumente in diesem Saale ist es wesentlich, eine Linie, z. B. auf dem Fussboden, zu ziehen, welche den magnetischen Meridian bezeichnet. Diese Linie muss nahe durch die Mitte des Saales gehen und an ihrem südlichen oder nördlichen Ende die Stelle treffen, wo sich ein festes Fundament für die Aufstellung des Theodolithen und der Uhr befindet. Wenn dieses Fundament errichtet und der Theodolith darauf gestellt ist, so befestige man zuerst eine *Skale*[5]) an dem Stative unter dem Fernrohre, so dass ein vom Objektive des Fernrohres herabgefälltes Perpendikel frei vor der Skale vorbeigeht. Diese Skale soll horizontal und rechtwinklig gegen den magnetischen Meridian stehen und nach Belieben etwas höher oder tiefer gestellt werden können. Der durch die optische Axe des Fernrohres gehende magnetische Meridian soll sie halbiren. Hierauf fälle man von der Decke ein solches Perpendikel auf den Fussboden, dass die durch dieses Perpendikel gelegte magnetische Meridianebene die optische Axe des Fernrohres enthalte, und dass, wenn das *Magnetometer*[4]) an diesem Perpendikel aufgehangen wird, die Abstände der spiegelnden Ebene des Magnetometers (siehe *Spiegel* und *Spiegelhalter*[7]) von der Skale und vom Fernrohre zusammen so gross ist, wie der Abstand des Fernrohres von einem an der gegenüberliegenden Wand bezeichneten Punkte (welcher als Mire dient), auf den das Fernrohr eingestellt werden kann. An der Stelle der Decke, von der dieser Perpendikel herabgefällt wurde, soll der *Träger*[8]) des Magnetometers nebst *Hebeschraube* und *Faden*[8]) befestigt werden. Man hänge an den von der Hebeschraube herabhängenden Faden vorläufig ein Gewicht als Senkel an, und verschiebe den Träger an der Decke so lange, bis dieses Senkel mit jenem Perpendikel zusammenfällt und richte dabei den Träger seiner Länge nach der nördlichen und südlichen Wand des Saales parallel. Hierauf wird die Höhe

des Trägers, des Fernrohres und der Skale über dem Fussboden gemessen. Von der ersten Höhe wird die halbe Summe der beiden letzteren abgezogen und ein Faden aus parallelen Kokonfäden gebildet, der diese Differenz zur Länge hat und stark genug ist, um das Magnetometer nebst 1 Kilogramm Belastung zu tragen. Das obere Ende dieses Fadens wird an der Schraube befestigt, das untere Ende am *Schiffchen*[9]), in welches der Magnetstab eingelegt werden kann. Unter den Magnetstab wird ein weiter *Kasten*[10]) gestellt, auf dessen Boden sich zwei Lager befinden, auf welche der Magnetstab, im Falle die Kokonfäden rissen, fallen würde, ohne Gefahr für den Spiegel, der am vorderen Ende des Magnetstabes befestigt ist.

Nach diesen Vorbereitungen können die genaueren Abmessungen beginnen, nämlich:

1. Die magnetische Axe des Magneten horizontal und den Spiegel perpendikular darauf zu stellen, oder den kleinen Winkel zu messen, den die Spiegel-Axe mit der magnetischen macht;

2. Beim mittleren Stande des Magneten die Torsion des Fadens auf Null zu bringen, oder den kleinen Rest der Torsion zu messen (siehe unten *Torsionsstab*[11]);

3. Das Verhältniss des Torsionsmoments des Fadens und des magnetischen Moments des Stabes bei einer Ablenkung zu bestimmen (siehe unten *Schiffchen nebst Torsionskreis*[9]);

4. Die Stelle für die Mire an der dem Fernrohre entgegen stehenden Wand abzumessen.

Auf diese Weise ist der Apparat zu den Deklinationsmessungen vorbereitet, welche bestehen:

1. in Messung des Azimuths der Mire,

2. in Bestimmung des Werths der Skalentheile,

3. in Beobachtung der Schwingungen und Elongationen (siehe unten noch *Beruhigungsstab*[13]).

Für die Ausführung aller hier nur angedeuteten Messungen werden in der Folge genauere Vorschriften gegeben werden.

Für die Intensitätsmessungen wird ausserdem die Auflegung von *Messstangen*[10]) erfordert, nach welchen die Lage des *Ablenkungsstabes*[11]) bestimmt wird. Diese Messstangen können zu beiden Seiten des Kastens, in welchem das Magnetometer eingeschlossen wird, horizontal und dem magnetischen Meridian parallel gelegt werden, in der Art, dass die Linien, welche entsprechende Punkte beider Maasse verbinden, horizontal und rechtwinklig gegen den magnetischen Meridian sind. Diese Stangen können so hoch gelegt werden, dass der auf ihnen aufgelegte Ablenkungsstab in gleicher Höhe mit dem schwingenden Stabe sich befindet. Wenn dies nicht der Fall ist, muss der Vertikalabstand jenes

auf den Messstangen liegenden Ablenkungsstabes und des schwingenden Stabes gemessen werden. Die Messstangen müssen 5 bis 6 Meter Länge haben und nach Süden und Norden fast gleich weit das Magnetometer überragen. Wenn es die Breite des Saales gestattet, ist es vortheilhaft, eine dritte Messstange horizontal und rechtwinklig mit den beiden vorigen zu verbinden. Sie kann so unter dem Kasten des Magnetometers weggehen, dass sie von einem Perpendikel getroffen wird, der von der Mitte zwischen dem Aufhängepunkt und Schwerpunkt des schwingenden Stabes herabgefällt wird. Die Messstangen müssen ihrer Länge nach etwas verschoben werden können, um sie so einzustellen, dass der Ablenkungsstab, auf entsprechende Punkte vor und hinter dem Kasten aufgelegt, gleiche Ablenkungen hervorbringe. Nach diesen Vorbereitungen besteht die Intensitätsmessung

1. in der Bestimmung des Trägheitsmoments des Ablenkungsstabes (siehe unten *Gewichte und Gewichtshalter*[12]),

2. in der Messung der Schwingungsdauer des Ablenkungsstabes,

3. in der Messung der Ablenkung eines aufgehangenen Hülfsstabes durch den Ablenkungsstab bei zwei verschiedenen Entfernungen des letzteren in Süden und Norden oder in Osten und Westen vom Magnetometer.

Nach der gegebenen Uebersicht von der Einrichtung des magnetischen Observatoriums und Anordnung der darin aufzustellenden Instrumente möge über einzelne Theile noch Folgendes bemerkt werden.

### *Bemerkungen über einzelne Theile des magnetischen Observatoriums und der magnetischen Instrumente.*

1. *Der Saal.* Taf. I. und II. stellen den Saal in perspektivischer Ansicht und im Grundrisse dar. In der ersten Ansicht ist die südliche Wand weggenommen; vorn zur rechten Hand sieht man *a*) das Fundament für den Theodolith, *b*) das Stativ des Theodoliths, *c*) den Theodolith, *d*) die am Stativ befestigte Skale, *e*) das von der Mitte des Objektivs herabgelassene Loth; daneben ist *f*) die Uhr aufgestellt; eine vom Theodolithenfernrohr zu der durch einen Pfeil bezeichneten Mire auf der gegenüberstehenden Wand gezogene Linie würde den magnetischen Meridian angeben. An der Decke, nahe der Mitte, ist der Träger des Magnetometers befestigt. Von ihm hängt der Faden herab, welcher das Schiffchen trägt, in welchem der Magnetstab liegt, an dessen vorderen Ende der Spiegel vertikal befestigt ist. Der Abstand des Spiegels von dem Fernrohre und von der Mitte der Skale, über welche ein vom Theodolithenfernrohr herabgesenktes Loth weggeht, sind zusammen so gross, wie der Abstand des Fernrohres von der Mire.

2. *Der Theodolith.* Zur Beobachtung der Deklinationsvariationen reicht ein Fernrohr hin, das auf seinem Stative blos in vertikaler Ebene drehbar ist, um von Zeit zu Zeit statt auf den Spiegel auf die Mire gerichtet zu werden. Es wird dadurch geprüft und bestätigt, dass das Fernrohr fest gestanden hat. Zu absoluten Deklinationsmessungen wird statt eines solchen Fernrohrs ein Theodolith gebraucht. Da die einzelnen Abtheilungen einer in Millimeter getheilten Skale nicht allein gesehen, sondern noch Unterabtheilungen derselben geschätzt werden sollen, ist es bei 5 Meter Abstand der Skale und des Fernrohrs vom Spiegel nöthig, dass letzteres wenigstens eine 30malige Vergrösserung gebe.

3. *Die Uhr.* Alle Beobachtungen werden genau nach der Zeit gemacht, zu welchem Zwecke eine Uhr, welche die Sekunden deutlich schlägt, nahe bei dem Beobachter stehen und ihm das Zifferblatt zukehren muss, damit er zu jeder Zeit die Zeiger ablesen und die Sekunden fortzählen könne. Ein Chronometer kann denselben Zweck erfüllen.

4. *Das Magnetometer.* Abgesehen von einer Uhr und einem Theodolithen, die bei Anstalten, wo die magnetischen Beobachtungen mit Vollständigkeit ausgeführt werden sollen, ohnedem als vorhanden vorausgesetzt werden dürfen, besteht das Magnetometer aus folgenden für die Deklinationsmessungen nothwendigen Theilen: dem Magnetstabe, dem Schiffchen nebst Torsionskreise, dem Träger nebst Schraube und Faden, dem Spiegel und Spiegelhalter, dem Torsionsstabe, der Skale und dem Beruhigungsstabe, wozu für die Intensitätsmessungen noch folgende Theile hinzu kommen: die Messstangen, der Ablenkungsstab, die Gewichte und der Gewichtshalter. Den Magnetstab in seiner Verbindung mit dem Schiffchen nebst Torsionskreise (welcher selbst wieder mit dem Träger durch den Faden verbunden ist) und mit dem Spiegel und Spiegelhalter sieht man Taf. III, Fig. 3 und 5 abgebildet.

5. *Die Skale.* Fig. 10 giebt eine Probe von der bisher gebrauchten Skale, die wenigsten 1 Meter lang sein muss. Herr Rittmüller in Göttingen hat in seiner Anstalt eine solche Skale lithographiren und auf weissem Kartenpapier abdrucken lassen.

6. *Das Senkel am Objektiv des Fernrohrs.* Ein feiner Draht von dunkler Farbe, der an seinem unteren Ende ein Gewicht trägt, wird am oberen Rande des Objektivs so befestigt, dass er genau über die Mitte des Objektivs herabhängt. Zur Fixirung dieses Drahts können die kleinen Einschnitte der gerieften Objektivfassung benutzt werden, oder es kann ein Ring zu diesem Zwecke über diese Fassung geschoben werden, der zwei Einschnitte hat, die sich diametral gegenüber stehen. Der obere Einschnitt dient zur Befestigung des Drahts und der Ring wird so gestellt, dass der Draht durch den unteren Einschnitt frei hindurch geht. Betrachtet man durch das Fernrohr das Bild der Skale

im Spiegel, so sieht man zugleich das Bild jenes Drahts sich auf der weissen Fläche der Skale projiciren und findet dadurch denjenigen Punkt der Skale, der in der Vertikalebene der optischen Axe des Fernrohrs liegt. Die Stelle, wo das Senkel verlängert den Boden trifft, wird genau bezeichnet und dient als Prüfungsmittel für die unverrückte Lage des Theodolithenstativs.

7. *Der Spiegel nebst Spiegelhalter.* Der Spiegel des Magnetometers muss vollkommen plan sein, weil sonst bei einer 30maligen Vergrösserung das Bild der Skale undeutlich wird. Die Planspiegel aus dem Utzschneider'schen optischen Institute in München haben sich bisher als die besten bewährt. Es ist vortheilhaft, wenn der Spiegel etwas breiter als hoch ist, weil, wenn der Magnetstab schwingt, abwechselnd die rechte und linke Seite des Spiegels vor das Fernrohr tritt. Die angemessensten Dimensionen des Spiegels sind 50 bis 70 Millimeter Höhe und 70 bis 100 Millimeter Breite. Bei Abmessung der Entfernung des Spiegels von der Skale und von der Mire ist die Brechung der Lichtstrahlen an der vorderen Glasoberfläche des Spiegels zu beachten. Aus dem bekannten Brechungsverhältnisse des Glases geht nämlich hervor, dass diejenige Ebene als reflektirende zu betrachten sei, welche halb so weit von der hinteren als von der vorderen Fläche des Spiegelglases entfernt liegt. Der Spiegel wird an dem dem Fernrohre zugekehrten Ende des Magnetstabs befestigt und soll mit ihm ein so festes System bilden, dass keine gegenseitige Verrückung beider während der Versuche zu fürchten sei, ungeachtet dabei der Magnetstab aus dem Schiffchen herausgenommen und verkehrt wieder hineingelegt wird. Ausserdem soll der Spiegel gegen den Stab eine solche Lage erhalten, dass die Normale des Spiegels der magnetischen Axe des Stabs ganz oder nahe parallel sei. Zu beiden Zwecken dient der Fig. 4 abgebildete Spiegelhalter, dessen Hülse mit Schrauben am Stabe befestigt wird. Der den Spiegel tragende Rahmen kann durch Schraubenbewegung um zwei rechtwinklichte Axen gedreht werden, wodurch er in die geforderte Lage gebracht wird.

8. *Der Träger nebst Hebeschraube und Faden.* Es ist sehr zweckmässig, den Faden, welcher den Magnetstab tragen soll, an der Decke zu befestigen, weil dadurch der Magnetstab vom Fussboden hinreichend isolirt und vor den Erschütterungen geschützt wird, die der Fussboden beim Gehen im Saale erleidet; hauptsächlich aber, weil der Faden dadurch eine schickliche Länge erhält. Wählt man keinen Metalldraht (dessen Elasticität bei gleichem Tragvermögen fast zehn mal grösser ist, als die eines Seidenfadens), sondern einen aus parallelen Kokonfäden zusammengesetzten Faden zum Tragen des Magnetstabs; so verlängert sich dieser zumal im Anfange sehr beträchtlich, und es wird darum

von Zeit zu Zeit nothwendig, den Faden in die Höhe zu ziehen, damit der Magnetstab und der daran befestigte Spiegel seine ursprüngliche Höhe wieder erhalte. Bei diesem Aufziehen darf der Faden nicht aus der Vertikalen, die er einnahm, verrückt werden. Zu diesem Zwecke dient eine Schraube, in deren Gewinde der Faden eingelegt ist, und auf welcher er noch weiter aufgewunden werden kann, während ein entfernterer Theil der Schraube in eine feststehende Mutter eingreift. Das Gewinde, in welches der Faden beim Vorwärtsdrehen der Schraube sich neu einlegt, tritt dann von selbst (durch die Vorwärtsbewegung der ganzen Schraube) an die Stelle dessen, in welchem der vertikal herabhängende Faden zuvor gelegen hatte. Die feststehende Mutter nebst einem festen Lager, durch welches die Schraubenspindel an ihrem Ende frei hindurchgeht, sind in einem hölzernen Schieber eingelassen, der mit Nuth und Feder in ein grösseres an die Decke befestigtes Bret eingreift und darin parallel mit der Nord- und Südwand des Saales verschoben werden kann. Wenn mit der Zeit die Lage des magnetischen Meridians sich beträchtlich ändern sollte; so dient diese Schiebung dazu, das Magnetometer in dem Meridiane des Fernrohrs zu erhalten. Nach einer solchen Verschiebung des Trägers an der Decke, die nur selten vorgenommen zu werden braucht, muss an der gegenüberstehenden Wand eine neue Mire angebracht werden, auf welche das Fernrohr, ohne aus dem Meridian zu weichen, eingestellt werden kann. Der Faden, an dem der Magnetstab hängt, besteht aus 200 parallelen Kokonfäden, von denen jeder 30 Gramm trägt, ohne zu zerreissen. Das Gewicht, welches dieser Faden gewöhnlich zu tragen hat, beträgt fast 2000 Gramm, wozu, wenn für die Intensitätsmessung das Trägheitsmoment des Magnetstabs ermittelt werden soll, noch zwei 500 Gramm schwere Gewichte kommen. Der Faden trägt also nie mehr, als die Hälfte des Gewichtes, bei dem er zerreissen würde. Dabei ist er etwa 2 Meter lang, und hat eine Torsionskraft, deren Moment, für kleine Ablenkungen etwa den 1000sten Theil des magnetischen beträgt. Dieser Faden ist so zubereitet worden, dass der einfache Konkonfaden 25 mal um zwei Glasröhren geführt wurde, die 4 mal weiter von einander abstanden, als der Faden lang werden sollte. Darauf wurden die beiden Enden des Fadens fest zusammengebunden, und der von ihm gebildete 25 fache Ring durch Entfernung der beiden Glasröhren von einander gespannt. Darauf wurde mitten zwischen den beiden Glasröhren ein Haken mit einem kleinen Gewichte angehangen, die beiden Glasröhren in die Höhe gehoben und zusammengeführt und die beiden die Glasröhren umschliessenden Schleifen zu einer Schleife vereinigt. So entstand ein hundertfältiger Faden, der oben und unten eine Schleife bildete, und auf ähnliche Weise nochmals zusammengelegt den Faden gab, an welchem der Magnetstab aufgehangen wurde.

9. *Das Schiffchen nebst Torsionskreis.* Die Torsionskraft des Fadens, an welchem der Magnetstab aufgehangen wird, darf bei den absoluten Deklinations- und Intensitätsmessungen nicht ausser Acht gelassen werden, selbst wenn dieser Faden sehr lang und fein ist. Um die Grösse dieser Kraft zu messen und ihren Einfluss dadurch zu vermindern, dass der Faden bei dem mittleren Stande des Magnetstabes in seine natürliche Lage gebracht wird, für die sein Drehungsmoment Null ist, war es nöthig, den Faden an einem seiner beiden Enden so um sich selber drehen zu können, dass sich dabei der Drehungswinkel messen liess. Um diese Drehung zur Hand zu haben, wird sie am unteren Ende des Fadens angebracht; damit aber der Magnetstab nicht mit gedreht werde, wird das Schiffchen aus zwei Theilen, gleichsam aus einer Alhidade und einem Kreise zusammengesetzt, die sich nur um eine gemeinsame vertikale Axe drehen lassen. Die Alhidade trägt den Magnetstab und wird vom Kreise getragen. Der Kreis ist mit einem Zapfen versehen, der durch die Alhidade hindurchgeht und oben zwei Haken hat, unter welche der am Faden befestigte Haken mit zwei Spitzen untergreift. Bei dieser Einrichtung des Schiffchens ist es von Wichtigkeit, dass die Alhidade, in welcher der Magnetstab liegt, auf dem Rande des Kreises, der vom Faden getragen wird, aufliege, weil sonst der Fall eintritt, dass die Reibung, wenn sie blos nahe an der Drehungsaxe Statt findet, eine gegenseitige Verschiebung beider Theile gegen einander in Folge des vom schwingenden Stabe erhaltenen Impulses gestattet. Uebrigens ist das Schiffchen so gestaltet, dass der Magnetstab sowohl mit seiner breiten als schmalen Seite aufgelegt hineinpasst. Es ist dies zu dem Zwecke geschehen, um durch Deklinationsbeobachtungen bei jenen verschiedenen Lagen des Magnetstabs im Schiffchen die Lage des Spiegels gegen die magnetische Axe des Stabs genau zu bestimmen.

10. *Der Kasten und die Messstangen.* Der Kasten, welcher das Magnetometer vor den Einflüssen der Luftströmungen schützt, ist weit und zugänglich gebauet. Er bildet einen Cylinder von 800 Millimeter Durchmesser und 300 Millimeter Höhe. Die cylindrische Form hat er aus dem Grunde erhalten, weil bei den Intensitätsmessungen zur Ermittelung des Trägheitsmoments auf den 600 Millimeter langen Magnetstab ein 700 Millimeter langer Holzstab unter rechtem Winkel aufgelegt wird, und dieser Stab, an welchem Gewichte angehängt werden, mit dem Magnetstabe zusammen im Kasten Platz finden und frei schwingen muss. Um diese Versuche mit Bequemlichkeit auszuführen, war es auch nothwendig, dass der Kasten von oben ganz geöffnet, jedoch auch wieder sehr dicht verschlossen werden konnte, so dass nur für den Faden eine Oeffnung in der Decke, für den Spiegel eine in der Seitenwand des Kastens blieb. Die letztere kann mit einem kleinen hölzernen Schieber

verschlossen werden, um in der Zeit, wo nicht beobachtet wird, den Luftzug abzuhalten. Oberhalb verschliessen zwei halbkreisförmige Deckel den Kasten, welche genau darauf passen und von denen der eine mit einer kleinen Oeffnung für den Faden versehen ist. Diese Oeffnung für den Faden befindet sich nicht im Mittelpunkte des von beiden Deckeln gebildeten Kreises, sondern sie ist so angebracht, dass, indem der Faden frei hindurchgeht, der Spiegel des daran hängenden Magnetstabs dicht vor der Oeffnung in der Seitenwand des Kastens zu schweben kommt. Dies ist darum nöthig, damit eine kleine Oeffnung hinreiche, um das Licht von der Skale zum Spiegel und vom Spiegel zum Fernrohr zu lassen. — Um den Kasten herum sind Messstangen aufgelegt, welche dazu dienen, im Süden und Norden oder im Osten und Westen des Magnetometers in vorgeschriebenen Entfernungen und in vorgeschriebener Lage einen anderen Magnetstab aufzulegen, welcher den hängenden Stab aus dem magnetischen Meridian ablenken soll.

11. *Der Torsionsstab und der Ablenkungsstab.* Dass der Faden, an welchem der Magnetstab hängt, bei der mittleren Stellung des letzteren seine natürliche Lage (ohne Drehung) habe, wird daraus erkannt, dass ein messingener Stab von gleicher Länge und Breite und fast gleichem Gewichte, wie der aufgehangene Magnetstab, in welchem nur ein kleiner Magnet eingelegt ist (um die Schwingungsdauer, die er getrieben von der Elasticität des Fadens haben würde, etwas abzukürzen), an die Stelle des Magnetstabs in das Schiffchen gelegt, seine magnetische Axe eben so richtet, wie jener. Um diese Prüfung mit Genauigkeit auszuführen, muss dieser Hülfsstab eben so wie der Hauptstab mit Spiegel und Spiegelhalter versehen sein. — Zur Intensitätsmessung wird ein zweiter Magnetstab von gleichen Dimensionen wie der Hauptstab erfordert, der auch anstatt des Hauptstabs in das Schiffchen eingelegt werden kann, um seine Schwingungen zu beobachten und sein Trägheitsmoment zu messen. Dieser selbe Stab muss aber auch als Ablenkungsstab dienen und wird zu diesem Zwecke in ein hölzernes Kästchen gepasst, das äusserlich mit ebenen, seiner magnetischen Axe parallelen Flächen und geraden Kanten begrenzt ist, um ihm darnach seine Stelle auf den Messtangen schnell und genau anzuweisen.

12. *Die Gewichte und der Gewichtshalter.* Zur Intensitätsmessung wird erfordert, dass man den Ablenkungsstab auch schwingen lasse und sein Trägheitsmoment dabei ermittele. Zu letzterem Zwecke wird ein dünner Holzstab quer über den schwingenden Magnetstab gelegt und an demselben zwei gleiche Gewichte zu beiden Seiten des Magnetstabs, successive in verschiedenen Entfernungen von einander angehangen. Um die Aufhängepunkte der Gewichte an diesem Holzstäbchen kenntlich zu machen und ihre wechselseitige Entfernung von einander genau zu

bestimmen, sind die beiden Gewichte, deren jedes 500 Gramm beträgt, mit Henkeln versehen, welche ein Hütchen nach unten kehren. Dieses Hütchen wird auf eine feine aus der Holzleiste hervorragende Spitze gestellt. Solcher hervorragender Spitzen befinden sich in der Holzleiste mehrere in 50 Millimeter Entfernung von einander mit Ausnahme der beiden mittelsten, welche 100 Millimeter von einander abstehen. Diese Abstände müssen mit mikroskopischer Genauigkeit abgemessen werden.

13. *Der Beruhigungsstab.* Zur schnellen und genauen Ausführung der Beobachtungen ist es von Wichtigkeit, die Schwingungen des Magnetstabs nach Belieben moderiren zu können, z. B. ihnen bei Messung der Schwingungsdauer anfänglich eine Grösse von 2 bis 3 Grad zu geben, oder bei den Variationsbeobachtungen sie so klein wie möglich zu machen und nie grösser als 2 bis 3 Bogenminuten werden zu lassen. Diesen Zweck erreicht man durch den Beruhigungsstab, auf dessen Gebrauch jeder Beobachter sich einüben muss. Es ist ein Magnetstab halb so lang und breit und 4 mal leichter als der Hauptstab. Wird dieser Stab hinter dem Theodolithen von dem Beobachter horizontal und rechtwinklicht gegen den magnetischen Meridian gehalten; so bringt er aus dieser Entfernung (von etwa $5\,^1/_2$ Meter), wenn er stark magnetisirt ist, eine Ablenkung von etwa 1 Bogenminute hervor und zwar westlich, wenn sein Nordpol östlich gehalten wird und umgekehrt. Diese Ablenkung wird aber desto kleiner, je mehr dieser Stab von der horizontalen Lage entfernt wird und verschwindet gänzlich bei Annäherung an die vertikale Lage. Man darf daher kein Bedenken tragen, einen solchen Stab in dieser Lage während der Beobachtungen hinter sich an der Mauer oder neben sich am Uhrgehäuse (wie es Taf. I und II dargestellt ist) stehen zu lassen, bis man ihn gebrauchen will. Der Gebrauch des Beruhigungsstabs bei den magnetischen Messungen ist sehr mannigfaltig und es ist wichtig, um in der Anstellung jener Versuche eine Kunstfertigkeit zu erlangen, sich mit den Gesetzen seiner Wirksamkeit genau bekannt zu machen. Es soll daher der Darstellung der Regeln und Gesetze für den verschiedenen Gebrauch und die Wirkungen des Beruhigungsstabs in der Folge ein eigener Artikel gewidmet werden.

Endlich möge noch über die Lage des Gebäudes bemerkt werden, dass ohne Nachtheil für die Beobachtungen in einiger Entfernung davon andere Gebäude sich befinden können. Das magnetische Observatorium durfte z. B. in Göttingen, wenn nicht grosse Unbequemlichkeiten für die Beobachter daraus hervorgehen sollten, nicht weit von der *Sternwarte* entfernt werden, wo in der näheren Umgebung derjenige Platz, den es jetzt einnimmt, der angemessenste von allen war, unter denen die Wahl frei stand. Die Mitte dieses Platzes, wo das Magnetometer aufgestellt ist, liegt, wie man aus dem Taf. II. Fig. 2 gegebenen Situationsplan

erkennt, etwa 60 Meter westlich von der Sternwarte. Aus dieser Entfernung üben mässige magnetische Kräfte auf das im magnetischen Observatorium aufgestellte Magnetometer einen so geringen Einfluss aus, dass es ganz unbedenklich gefunden worden ist, in einem Saale der Sternwarte einen magnetischen Hülfsapparat aufzustellen, der bei absoluten Messungen sehr wesentliche Dienste leistet, um die verschiedenen zu einem absoluten Resultate nothwendigen, nach einander anzustellenden Beobachtungen trotz der Veränderlichkeit des Erdmagnetismus vergleichbar zu machen.

Zur Bestimmung des Einflusses entfernter Magnete, deren Stärke und Lage gegen das Magnetometer bekannt ist, wird in der Folge eine genauere Anweisung gegeben werden, welche besonders dazu dienen wird, wenn mehrere magnetische Apparate (z. B. ein Haupt-Magnetometer, ein Hülfs-Magnetometer und ein Inklinatorium) in benachbarten Gebäuden aufgestellt werden sollen, entweder um sich sicher zu überzeugen, dass ihr Einfluss auf einander unschädlich ist, oder, wenn das nicht der Fall ist, um ihn in Rechnung zu bringen, oder, wenn er gar zu beträchtlich wäre, die zu seiner Verminderung nothwendige wechselseitige Entfernung der Gebäude und der darin aufzustellenden Apparate genau zu bestimmen.

### *Erklärung der dritten Tafel.*

Auf dieser Tafel ist das Magnetometer in seinen einzelnen Theilen dargestellt worden, mit Ausnahme der Uhr und des Theodolithen, der Messstangen, des Kastens, des Torsions- und Beruhigungsstabs, die theils keiner besonderen Abbildung bedurften, theils in kleinerem Maassstabe auf Taf. I und II schon abgebildet sind. Dagegen bedurfte die Einrichtung des Trägers nebst der Hebeschraube, des Schiffchens nebst dem Torsionskreise, des Spiegelhalters nebst seiner Korrektionen, des Gewichtshalters nebst Gewichten einer genaueren Darstellung, die auf dieser Tafel in halben Maassstabe und von verschiedenen Seiten gegeben ist. Das Schiffchen nebst dem Torsionskreise mit dem inliegenden Magnetstabe sind in dreifacher Lage dargestellt worden, nämlich von Westen, von Süden und von oben; eben so der Spiegelhalter, der Träger nebst der Hebeschraube sind von zwei Seiten dargestellt worden, nämlich von Westen und von Süden. Die südliche Ansicht des Schiffchens nebst dem Torsionskreise und dem eingelegten Magnetstabe ist benutzt worden, um anschaulich darzustellen, wie zum Zweck der absoluten Intensitätsmessung und der dazu nöthigen Kenntniss des Trägheitsmoments des schwingenden Theils des Magnetometers auf den im Schiffchen liegenden Magnetstab der Gewichtshalter in west-östlicher Lage aufgelegt und an Spitzen, die er trägt, zwei halbe Kilogramm-Gewichte aufgehängt werden.

Zur Ersparung des Raums auf der Platte sind in der obersten Reihe die beiden Ansichten des Trägers nebst der Hebeschraube neben einander gestellt, dadurch ist aber verhindert worden, sie beide in die richtige relative Lage gegen die daran hängende schwingungsfähige Abtheilung des Magnetometers zu bringen. Man sieht jedoch leicht, wie die Ansicht des Trägers mit der Hebeschraube in Fig. 1 mit der Ansicht des Schiffchens, Torsionskreises, Magnetstabs und des Spiegelhalters in Fig. 3 zusammen gehört, wenn man den in Fig. 1 angedeuteten Anfang und das in Fig. 3 angedeutete Ende des verticalen Verbindungsfadens beachtet. Diese beiden Figuren stellen die Haupttheile des Magnetometers in der Ansicht von Westen dar. Eben so gehören Fig. 2 und 6 zusammen und geben die Ansicht des Instruments von Süden her betrachtet. Es ist in Fig. 6 der Spiegelhalter vom Südende des Magnetstabs abgenommen worden, damit er das dahinter liegende Schiffchen nicht verdeckte, und ist in Fig. 4 besonders dargestellt. Während in der Fig. 3 gegebenen westlichen Ansicht blos der kleine Einschnitt am Schiffchen angedeutet ist, in welchen der Gewichtshalter passt, ist in der Fig. 6 gegebenen südlichen Ansicht dieser Gewichtshalter selbst auch in jenen Einschnitt eingesetzt und auf den Magnetstab aufgelegt, und auf die von ihm dargebotenen Spitzen sind die beiden halben Kilogramme, die er tragen soll, aufgestellt worden.

Fig. 1 stellt den Träger nebst Schraube und Faden von Westen gesehen dar. *AA* ist ein an die Decke befestigtes Bret; *BB* sind zwei darauf geleimte parallele Holzleisten, zwischen denen sich ein Schieber *DD* von Osten nach Westen bewegen lässt, der von zwei vorspringenden Leistchen *CC* getragen wird; am Schieber sind durch Schrauben die messingenen Lager *E* befestigt, durch welche die Hebeschraube in der Richtung von Osten nach Westen hindurchgeht; *F* ist ihr Schraubenkopf am westlichen Ende, der in dieser Figur die Schraube selbst bedeckt; *G* ist der an der Schraube befestigte Faden.

Fig. 2 stellt denselben Träger nebst Schraube und Faden von Süden gesehen dar. *AA* ist hier der Längendurchschnitt des an die Decke befestigten Bretes; *BB* ist die nördliche, auf jenes Bret aufgeleimte Leiste; *CC* das Leistchen, auf welchem der Schieber aufruht; es ist am Rande mit einer Skale versehen, die zur Stellung des Schiebers dient; *DD* stellt den Schieber seiner Länge nach dar, woran die messingenen Lager *E* und *E'* mit Schrauben befestigt sind. Durch diese Lager geht die Hebeschraube hindurch, deren Kopf *F* ist. Diese Schraube greift mit ihrem Gewinde in das Lager *E* ein und wird daran von der Gegenmutter *H* festgedrückt. Nahe am zweiten Lager *E'* verwandelt sich die Schraube in einen glatten Cylinder, der durch eine glatte Oeffnung des Lagers *E'* hindurchgeht. Am Ende der Schraubengewinde ist

der Faden *G* befestigt und liegt in den Schraubengängen, worin er bis zur Mitte zwischen beiden Lagern fortläuft und von da senkrecht herabhängt und am unteren Ende das Schiffchen des Magnetometers trägt. Soll der Faden gehoben werden, so wird die Gegenmutter *H* gelöst und dann die Schraube am Schraubenkopfe *F* in ihren Lagern gedrehet.

Fig. 3 stellt die schwingungsfähige Abtheilung des Magnetometers von Westen gesehen dar. Sie besteht aus zwei Haken *AA*, von denen in dieser Figur der hintere vom vorderen verdeckt wird. An einem unter diese beiden Haken greifenden Stifte wird das untere Ende des Fadens *G* befestigt. Ferner gehört zu dieser Abtheilung des Magnetometers der Torsionskreis *BB*, auf welchem das Schiffchen *CCCC* aufruhet; der Magnetstab *DD* und der Spiegelhalter *E* mit zwei Rähmchen *FF*, *HH* und den zur Aufnahme des Spiegels dienenden Klemmen *KK*. Mit Ausnahme des Magnetstabes *DD*, der allein 1700 Gramm wiegt, und des Spiegels, der ziemlich dick sein muss, damit er sich nicht beugen könne, sind alle übrigen Theile aus dünnem Messing gearbeitet, um das Trägheitsmoment des Magnetometers wenig zu vergrössern. Der Faden, der das Schiffchen trägt, ist nicht am Schiffchen unmittelbar, sondern an einen Stift angebunden, der unter die Haken *AA* greift, um, ohne seine Befestigung zu lösen, vom Schiffchen abgenommen werden zu können. Der Stift ist mit zwei ungefähr 40 Millimeter von einander abstehenden Spitzen versehen und greift damit in zwei kleine Vertiefungen der beiden Haken *AA* ein. Der Torsionskreis *BB* ist mit einem vertikalen Zapfen versehen, dessen oberes Ende die Haken *AA* trägt und der von dem darum drehbaren Schiffchen umschlossen wird. Das Schiffchen selbst ruht auf der Peripherie des Torsionskreises, wird jedoch durch seine Reibung an der Peripherie des Torsionskreises verhindert sich zu drehen. Am Ende des Magnetstabes *DD* sieht man den Spiegelhalter, welcher bei *E* eine den Magnetstab umschliessende Scheide bildet, die durch Schrauben daran festgeklemmt wird. An dieser Scheide ist ein um eine vertikale Axe drehbares Rähmchen *FF'* angebracht. Eine kleine Druck- und Klemmschraube, die zur Verstellung und Feststellung dieses Rähmchens dienen, befinden sich auf der abgewendeten Seite der Figur und sind darum nicht sichtbar. Mit diesem ersten, um eine vertikale Axe drehbaren Rähmchen *FF'* ist ein zweites, um eine horizontale Axe bei *F'* drehbares Rähmchen *HH* verbunden, welches gegen das erstere mit Hülfe der oberhalb sichtbaren Druck- und Klemmschraube gleichfalls verstellt und festgestellt werden kann. An diesem zweiten Rähmchen sind die Klemmen angebracht, welche den Spiegel aufnehmen sollen. Es sind drei solche Klemmen vorhanden, aber in dieser Figur nur zwei davon bei *K* und *K'* sichtbar, weil die dritte von der zweiten bei *K'* verdeckt wird.

Fig. 4 dient zur deutlicheren Uebersicht aller Theile des Spiegelhalters, welche in dieser hier dargestellten Ansicht von Süden einzeln besser sichtbar sind, als in der vorhergehenden von Westen. Die einzelnen Theile sind hier mit den nämlichen Buchstaben bezeichnet. Das im Hintergrunde zwischen $E$ und $E''$ sichtbare Rechteck ist der Querschnitt der den Magnetstab umschliessenden und daran fest zu schraubenden Hülse des Spiegelhalters. Diese Hülse hat auf der einen Seite zwei Vorsprünge $E'E'$, welche die vertikale (in unserer Figur horizontale) Axe des Rähmchens $FFF'F'$ bilden. Gegenüber bei $E''$ ist ein dritter Vorsprung, gegen welchen die Druck- und Klemmschraube wirken, die zur Verstellung und Feststellung dieses ersten Rähmchens dienen. An diesem ersten Rähmchen bei $F'F'$ ist eine horizontale (in unserer Figur vertikale) Axe angebracht, um welche das zweite Rähmchen $HHHH$ sich drehen kann. Dieser Axe gegenüber sind an beiden Rähmchen kleine Vorsprünge, die durch Druck- und Klemmschraube ebenfalls gegenseitig verstellt und festgestellt werden können. In dem zweiten Rähmchen sieht man drei Schlitze $HH$, $HH$, $HH$ angebracht, in welchen drei kleine Schieber verschoben und festgestellt werden können. Diese Einrichtung dient dazu, den Raum zur Aufnahme des Spiegels der Grösse des letzteren anzupassen. Diese drei kleinen Schieber endigen nach Süden mit drei kleinen vertikalen Kreisflächen, auf welche die Kehrseite des Spiegels mit ihren Rändern aufgelegt wird, während der Kopf einer Schraube, deren Gewinde am Spiegelrande vorbei in den Schieber eingreift, auf die Vorderfläche drückt. Man sieht in dieser Figur die Schieber nicht selbst, sondern blos die Köpfe der drei Schrauben, welche in sie eingreifen und jene ganz bedecken.

Nach diesen Erklärungen der ersten Figuren werden einige kurze Bemerkungen für die übrigen genügen.

Fig. 5. Bei dieser Ansicht des Schiffchens, Torsionskreises, Magnetstabs und Spiegelhalters von oben zeigt sich vorzüglich der Torsionskreis deutlicher, so wie die Gestalt des auf seinem Rande aufliegenden, wie eine Alhidade drehbaren Schiffchens. Auch sieht man in der Mitte des Kreises das Ende des durch die Alhidade hindurchgehenden Zapfens und den daran befestigten Doppelhaken mit seinen zwei Vertiefungen. Der Messingstift, der mit seinen Spitzen in diese Vertiefungen passt, ist der Deutlichkeit halber weggenommen. In dieser Figur sieht man übrigens, wie der Spiegel am Spiegelhalter befestigt ist.

Fig. 6. In dieser Figur, die schon mehrmals erwähnt worden ist, ist besonders deutlich zu sehen, wie der Stift, an welchen der Faden geknüpft ist, mit seinen beiden Spitzen in die Vertiefungen der Haken eingreift, die durch ein Joch verbunden sind, das in seiner Mitte mit einem viereckigen Loche versehen auf den vierseitig abgefeilten Zapfen

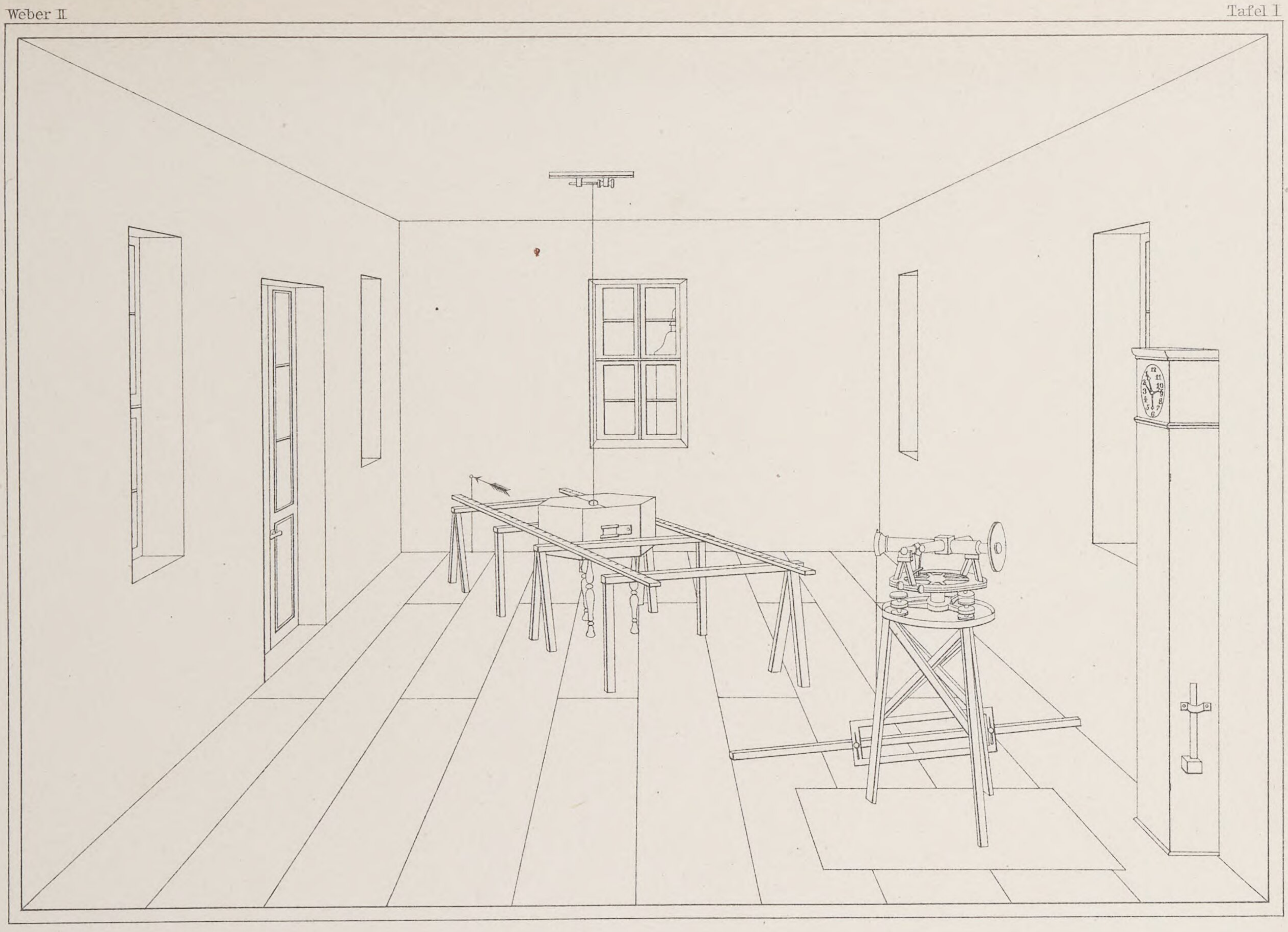
des Torsionskreises aufgesteckt und durch eine Schraube darauf festgehalten wird. Da das Schiffchen nebst dem Magnetstabe in die Höhe gehoben werden muss, wenn der letztere zur Ermittelung seiner magnetischen Axe umgelegt werden soll; so würde der Stift, an welchem der Faden angeknüpft ist, dabei herausfallen, wenn nicht unter dem Stifte eine kleine Feder angebracht wäre, die in dieser Figur sichtbar ist und welche den Stift auch dann in seiner Lage fest hielte. Das über 700 Millimeter lange Holzstäbchen, welches in dieser Figur über die Mitte des Magnetstabes gelegt ist, und zur Aufhängung zweier Halbkilogramme dient, die das Trägheitsmoment des Magnetstabes vermehren sollen, ist mit sechs Spitzen versehen, auf welche die beiden Gewichte in drei verschiedenen Entfernungen von einander gestellt werden können. Die beiden mittelsten Spitzen sind 100, die folgenden 400, die äussersten 700 Millimeter von einander entfernt. Die ersten und letzten stehen fest, die dazwischen liegenden können abgenommen und in andere Vertiefungen, die von 50 zu 50 Millimeter angebracht sind, versetzt werden. Die Abstände aller dieser Spitzen müssen mit mikroskopischer Genauigkeit gemessen werden.

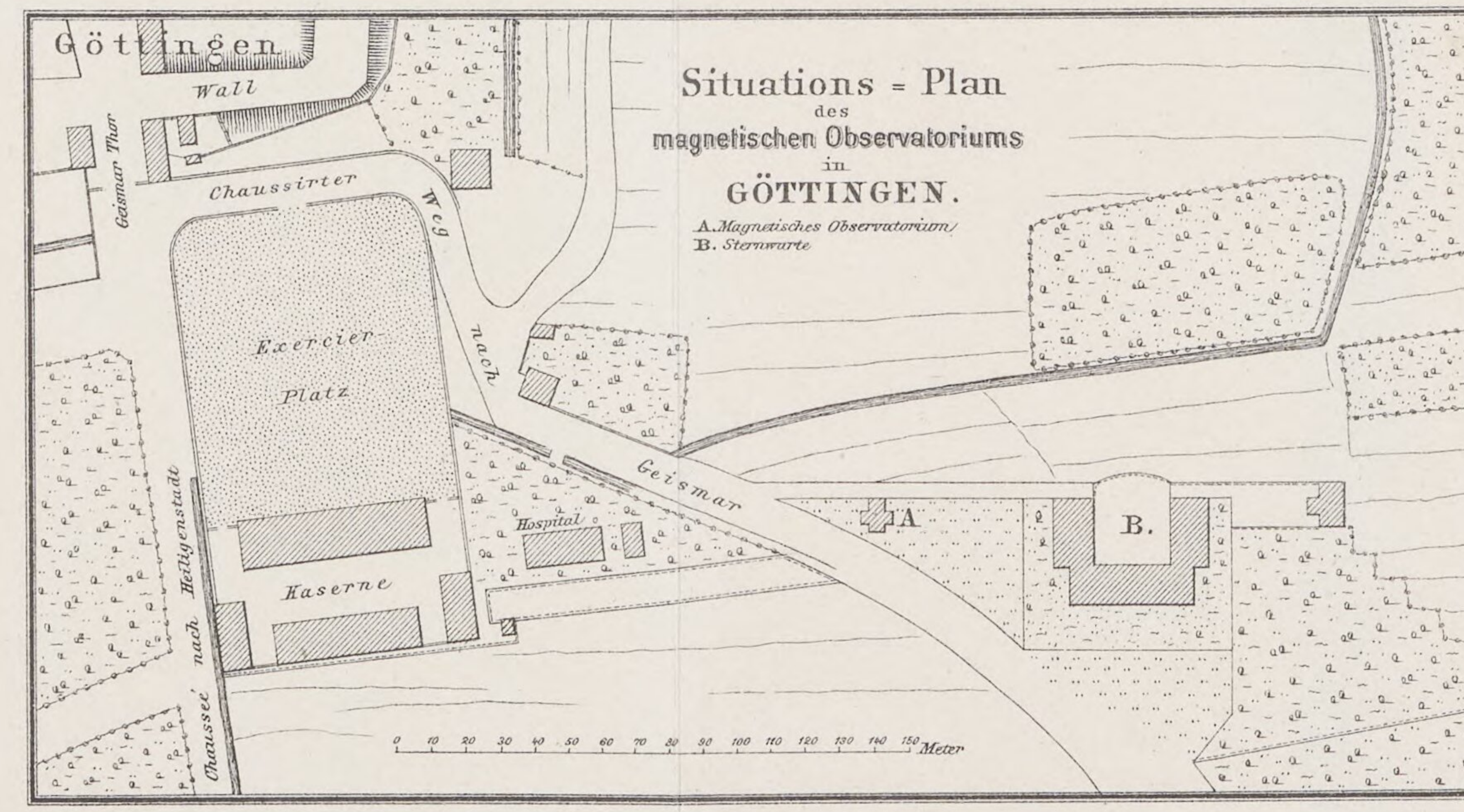
Fig. 7, 8 und 9 stellen den Stift, an welchem der Faden befestigt ist, von der Seite, von oben und von unten gesehen dar. Die erste Ansicht zeigt die beiden Spitzen, mit welchen dieser Stift in die Vertiefungen der beiden Haken am Torsionskreise eingreift, so wie die Feder, welche diesen Stift festhält, auch wenn das Schiffchen in die Höhe gehoben und der am Stifte angebundene Faden abgespannt wird. Die zweite Ansicht zeigt die enge runde Oeffnung, durch welche der Faden hindurchgezogen und zusammengehalten wird. Die dritte Ansicht zeigt eine ovale Oeffnung, die von einem runden Querstifte halbirt wird. Um letzteren wird der Faden geschlungen und fest gezogen, nachdem er seiner Länge nach durch die von seinem unteren Ende gebildete Schleife durchgezogen worden ist.

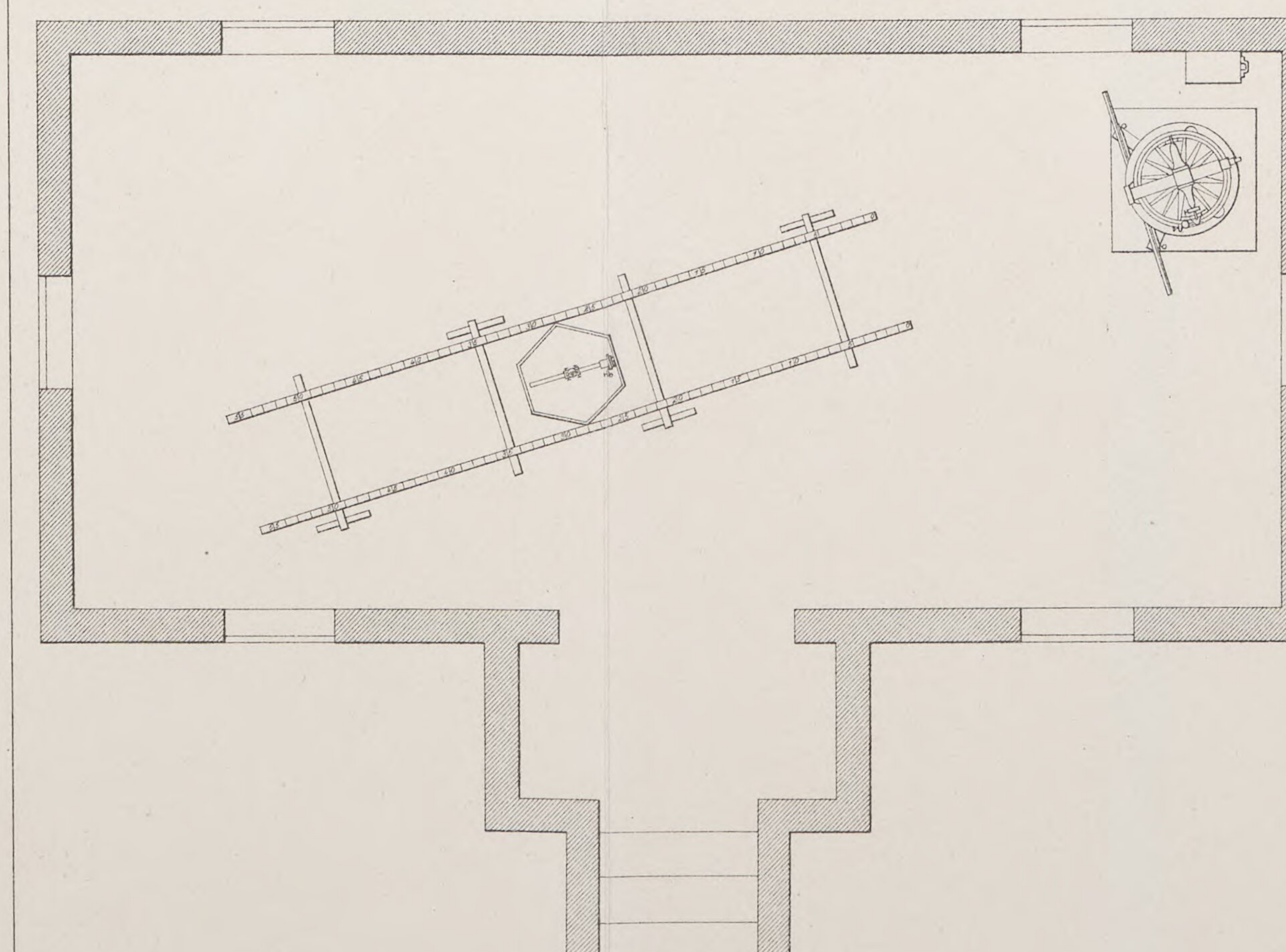
Fig. 10 giebt endlich eine Probe von der Skale, die unter dem Theodolith aufgestellt, und deren Spiegelbild mit dem Theodolithen-Fernrohre beobachtet wird. Bei Anwendung eines astronomischen Fernrohrs, welches vor einem terrestrischen bei gleichem Objektivglase den Vorzug grösserer Helligkeit und Kürze hat, wird die Skale umgekehrt, so dass die Zahlen über die Theilung zu stehen kommen, statt sie in unserer Figur unter der Theilung sich befinden.

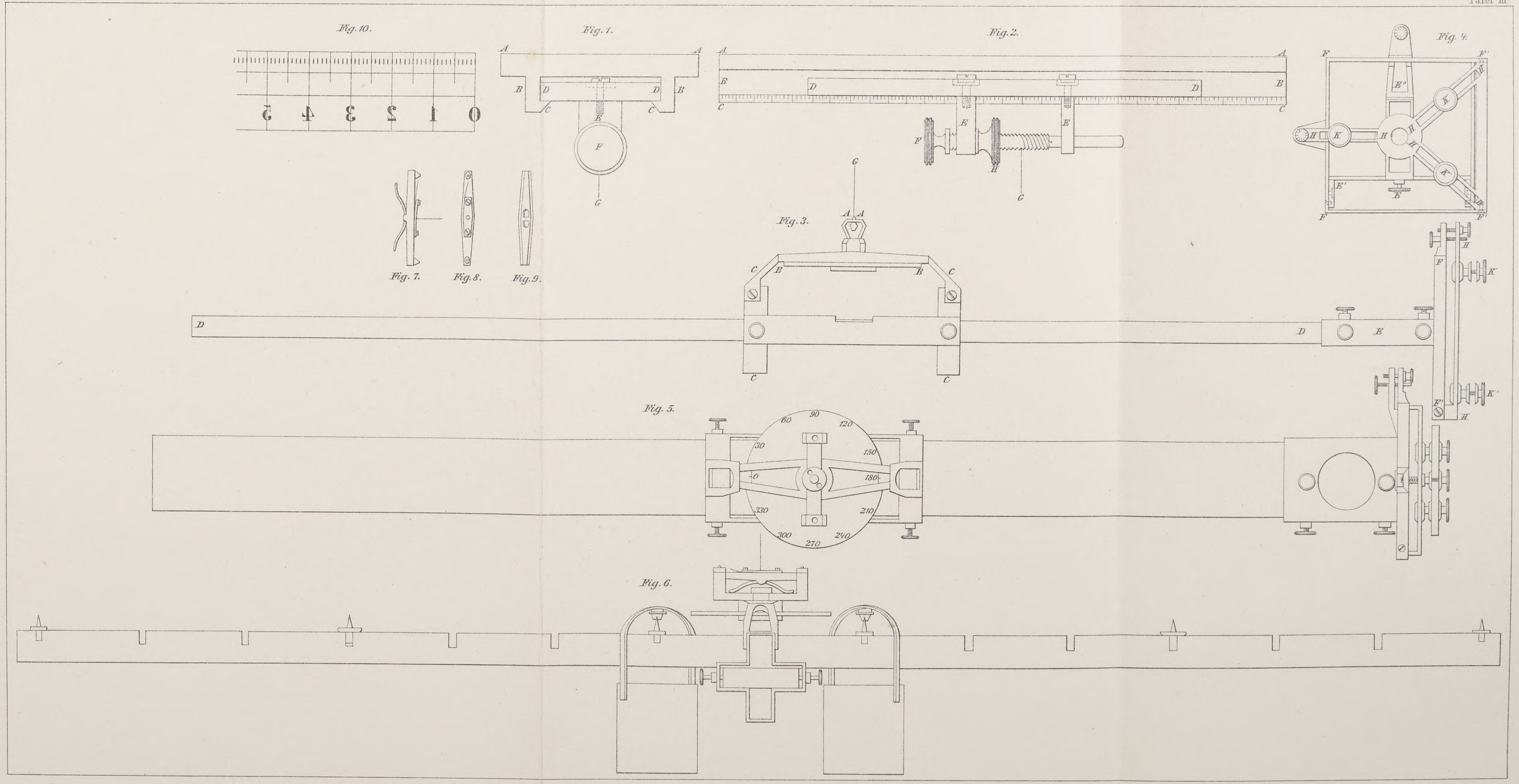
### *Kostenbetrag, welchen die Erbauung und Einrichtung eines magnetischen Observatoriums verursacht.*

Die Kosten eines magnetischen Observatoriums zerfallen in die Kosten des *Gebäudes* und in die der *Instrumente.*




Situations = Plan
des
magnetischen Observatoriums
in
GÖTTINGEN.
A. Magnetisches Observatorium
B. Sternwarte
Göttingen
Wall
Geismar Thor
Chaussirter Weg nach Geismar
Exercier-Platz
Kaserne
Hospital
Chaussee nach Heiligenstadt
A
B.
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 Meter




Fig. 10.
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 4.
Fig. 3.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 5.
Fig. 6.

Die Aufführung eines *Gebäudes* verursacht nicht überall gleiche Kosten. Beispielshalber mögen hier die Kosten des Baues des magnetischen Observatoriums zu Göttingen angeführt werden, welche nach Vollendung desselben sich zu

797 Thlrn. 19 Ggr. 6 Pf. Preuss. Kourant

ergeben haben. Dabei ist zu bemerken, dass ein Theil dieser Kosten darauf verwendet worden ist, alles Eisen vom Gebäude auszuschliessen. Alle Nägel, Schlösser, Thür- und Fensterangeln, überhaupt alles, wozu bei anderen Gebäuden Eisen verwendet wird, ist in diesem von Kupfer, wodurch bewirkt worden ist, dass in einem grossen Umkreise vom Magnetometer sich gar nichts befindet, was auf die magnetischen Erscheinungen schädlich einwirken könnte.

Die Kosten der *Instrumente* lernt man aus folgendem Preis-Kourant des Herrn Mechanikus Meyerstein zu Göttingen kennen, welcher die meisten Instrumente dieser Art bisher verfertigt hat.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | Ein achtzölliger Theodolith . . . . . . . . . | 150 | Rthlr. |
| 2. | eine Sekunden-Uhr . . . . . . . . . . . . | | |
| 3. | ein festes Stativ für den Theodolith . . . . . | 7 | — |
| 4. | eine Skale nebst Fassung . . . . . . . . . . | 1 | — |
| 5. | der Erleuchtungsapparat . . . . . . . . . . . | 11 | — |
| 6. | der Träger mit Schiebung und Schraube . . . . | 8 | — |
| 7. | das Schiffchen mit Torsionskreis . . . . . . . | 15 | — |
| 8. | ein vierpfündiger Hauptstab mit Kästchen, ein vierpfündiger Hülfsstab und ein einpfündiger Beruhigungsstab . . . . . . . . . . . . . . . . . | 7 | — |
| 9. | ein messingener Torsionsstab mit eingelegtem Magnete | 9 | — |
| 10. | zwei Spiegelhalter mit Korrektionen und Spiegeln . | 43 | — |
| 11. | ein Gewichtshalter und zwei halbe Kilogramme mit Henkeln . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 7 | — |
| 12. | ein Kasten mit Glasdeckel . . . . . . . . . . | 16 | — |
| 13. | drei Messstangen von 6 Meter Länge nebst Stativen | 4 | — |

II.

# Beschreibung eines kleinen Apparats zur Messung des Erdmagnetismus nach absolutem Maass für Reisende.

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1836, IV, S. 63—89.]

---

Unter den zahlreichen Anwendungen, zu denen das Magnetometer geeignet ist, ist die wichtigste die auf absolutes Maass zurückgeführte Messung des Erdmagnetismus, wie sie in der Abhandlung: *Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata, Auctore* Carolo Friderico Gauss, *Gottingae, 1833*[1]) gegeben worden ist. Diese Anwendung des Magnetometers, welche gestattet, die Resultate der Erfahrungen, die in den entferntesten Welttheilen, zu den verschiedensten Zeiten und mit nie verglichenen Apparaten erhalten worden sind, mit einander numerisch zu vergleichen, wird in diesen Blättern in der Folge häufiger besprochen und es wird successive Alles mitgetheilt werden, was zu ihrer Ausführung zu wissen nöthig ist, sowie Alles, was zur Erleichterung des Geschäfts dabei dienen kann. Desgleichen werden auch die Resultate dieser absoluten Messungen zur Sprache gebracht werden und ihre Benutzung zu einer wissenschaftlichen Begründung der Lehre vom Galvanismus.

Diese wichtigen absoluten Messungen des Erdmagnetismus lassen sich mit derjenigen Genauigkeit, welche sie verdienen, nur mit dem Magnetometer und zwar nur in einem vollständig ausgerüsteten Observatorio ausführen.

Da aber solcher Observatorien vor der Hand nur wenige existiren und wenigen Naturforschern zugänglich sind, während doch viele sich für diese Messungen interessiren und sich eine Uebersicht und ein Urtheil von der Sache verschaffen möchten, die schwer zu erlangen ist, wenn man nicht selbst Hand anlegt und die nöthigen Beobachtungen und Rechnungen, wenn auch weniger fein und genau, ausführt; so sollen dazu hier einfachere Mittel an die Hand gegeben werden, die sich Jeder verschaffen kann. Die Beschreibung und die Anleitung zum Gebrauch

---

[1]) [Gauss' Werke, Bd. V, p. 79.]

dieser Mittel finden um so mehr hier eine passende Stelle, weil diese Blätter nicht blos für den engen Kreis der Theilnehmer an den magnetischen Beobachtungen, sondern überhaupt für Alle, welche an der Aufsuchung der Gesetze der magnetischen Naturerscheinungen Theil nehmen, bestimmt sind.

Die weniger scharfen Hülfsmittel, welche man vor Erfindung des Magnetometers zu magnetischen Messungen anwandte, können nicht nur auch jetzt noch zu den nämlichen Zwecken gebraucht werden, wie früher, sondern können auch zur Ausführung der absoluten Intensitäts-Messung Anwendung finden, welche die Erfindung des Magnetometers veranlasst hat. Zwar gewähren jene Instrumente bei weitem nicht so genaue Resultate, wie das Magnetometer; aber die Resultate, die sie geben können, werden mit ihnen zum Theil leichter gewonnen. Dies ist der Grund, warum diese Instrumente durch das Magnetometer nicht allen ihren Werth verloren haben, sondern auch ferner noch, wenn auch in beschränkterem Kreise, eine nützliche Anwendung finden werden. Ueberall, wo die Anwendung eines Magnetometers, sei es wegen Beschränkung an Mitteln oder an Zeit, oder aus anderen Gründen nicht möglich ist, werden jene Instrumente noch häufig mit Vortheil benutzt werden. Vorzüglich oft wird dies auf Reisen in fernen Gegenden vorkommen. Zwar ist es möglich, das Magnetometer auch auf Reisen mit sich zu führen und zu gebrauchen, wie das rühmliche Beispiel beweist, was Herr von Waltershausen und Herr D. Listing auf ihrer italienischen Reise gegeben haben; doch ist dies nur Reisenden möglich, die von äusseren Verhältnissen sehr begünstigt sind und es ist darum nicht zu erwarten, dass Viele diesem Beispiele folgen werden. Will man daher von der ganzen Erdoberfläche Beobachtungen sammeln, so muss man auch mit solchen vorlieb nehmen, die nicht mit Magnetometern gemacht sind, und es ist wichtig, die Anwendung der gebräuchlichen Reise-Instrumente dadurch zu erweitern, dass man auch die bisher blos mit Magnetometern gemachte absolute Intensitätsmessung mit ihnen ausführt. Die Genauigkeit der mit jenem Reise-Instrumente ausgeführten absoluten Intensitätsmessung wird sich zu der mit dem Magnetometer ausgeführten fast ebenso, wie die mit beiden ausgeführten Deklinationsmessungen verhalten. Eine geschickte Hand wird daher auch mit ihnen nützliche Resultate gewinnen können und es wird sogar wünschenswerth erscheinen, dass recht viel Gebrauch von ihnen gemacht werde.

Es sollen nun der Reihe nach

1. die Theile des kleinen Messungsapparates,
2. die damit zu machenden Beobachtungen,
3. die Regeln zur Benutzung der Beobachtungen,
4. die Berechnung der Beobachtungen nach diesen Regeln,

5. das Resultat der Berechnung,
6. die Vortheile der gewählten Dimensionen des Apparates zur Schärfung des Resultates

betrachtet werden.

### 1. *Die Theile des kleinen Messungsapparates.*

Ausser einer Sekundenuhr, die zu diesen Messungen nothwendig ist, besteht dieser kleine Messungsapparat aus drei Theilen:

aus einer kleinen Boussole,
aus einem kleinen Magnetstabe, den man an einem Seidenfaden schwingen lassen kann,
aus einem 1 Meter langen Maassstabe.

Es wurde eine Boussole gewählt, deren Nadel nur 60 Millimeter lang und deren Kreisbogen blos in ganze Grade getheilt war. Soll eine so kleine Boussole zu brauchbaren Resultaten führen, so muss der Beobachter sich die Geschicklichkeit erwerben, noch den zehnten Theil eines Grades sicher zu schätzen[1]). Diese Boussole könnte auch noch etwas grösser sein, aber es ist nicht rathsam, aus Gründen, die zum Schlusse des Aufsatzes angegeben werden sollen, sie grösser als 100 Millimeter zu wählen.

Der kleine Magnetstab war 101 Millimeter lang, $17^1/_2$ Millimeter breit, wog 142 Gramm und man konnte ihn schwingen lassen, indem man einen seidenen Faden kreuzweise um ihn band und ihn daran in seiner Mitte aufhing. Es ist vortheilhaft, wenn dieses Stäbchen genau parallelepipedisch gearbeitet ist, damit man aus seinem Gewichte und seinen Dimensionen sein Trägheitsmoment berechnen könne. Auch kann es in seiner Mitte mit einem kleinen Loche versehen werden, durch welches eine Nähnadel gesteckt wird, wo man dann den Faden, an welchem es schwingen soll, blos durch das Oehr der Nadel zu ziehen braucht. Auch ist es bequem, wenn das Stäbchen genau 100 Millimeter lang ist.

Der Maassstab muss so breit sein, dass die Boussole in der Mitte darauf gestellt werden kann und braucht nur von 50 zu 50 Millimeter getheilt zu sein.

---

[1]) Diese Schätzung, welche unter anderen Verhältnissen leicht zu machen ist, findet hier darin ein Hinderniss, dass die Spitze der Magnetnadel von der Theilung gewöhnlich etwas absteht. Man hat zur Besiegung dieses Hindernisses sich des Hülfsmittels bedient, auf den Tisch vor der Magnetnadel einen Spiegel horizontal zu legen und, ehe man den Stand der Boussole abliest, das Spiegelbild des Auges, mit dem man abliest, zu beobachten und nach dem Augenmaasse zu beurtheilen, ob die verlängerte Magnetnadel das Spiegelbild des Auges halbire.

Dieses sind die einfachen Mittel, welche zur Ausführung der ganzen Messung nöthig sind. Herr Mechanikus Meyerstein in Göttingen liefert den ganzen Apparat mit Ausnahme der Uhr für $9\frac{1}{2}$ Thaler, woraus hervorgeht, dass die Intensitätsmessung mit diesen Mitteln ausgeführt weniger Aufwand als irgend eine andere magnetische Messung erfordert. Zugleich ersieht man hieraus, dass dieser Apparat sich sehr gut für die Reise passt und überall, selbst von Fussgängern, fortgebracht werden kann. Man stellt den Apparat auf einem Tische mitten im Zimmer auf, vermeidet alles Eisen in der nächsten und grosse Eisenstangen auch in der weiteren Umgebung. Auch lassen sich leicht Einrichtungen treffen, den Apparat im Freien zu gebrauchen.

## 2. *Die mit diesem Apparate zu machenden Beobachtungen.*

Die Beobachtungen mit diesem Apparate sind von zweierlei Art: 1. Die Ablenkungsversuche, 2. die Schwingungsversuche.

### 1. *Die Ablenkungsversuche.*

Der Maassstab wird horizontal und rechtwinklig gegen den magnetischen Meridian gelegt. Sein Anfang liege östlich. Die Boussole wird mitten darauf gestellt. Der kleine Magnetstab wird

1. mit seinem Nordende östlich, auf den Nullpunkt der Theilung gelegt, so dass seine Mitte (wenn er 100 Millimeter lang ist) auf 50 Millimeter liegt. Die Boussole wird östlich abgelenkt und ihr Stand $u_0$ beobachtet.

2. Das Südende wird mit dem Nordende vertauscht. Die Boussole wird westlich abgelenkt und ihr Stand $u_0'$ beobachtet.

3. Das Nordende des Magnetstabes wird östlich, auf 100 Millimeter gelegt. Die Boussole wird östlich abgelenkt und ihr Stand $u_1$ beobachtet.

4. Das Südende wird mit dem Nordende vertauscht. Die Boussole wird westlich abgelenkt und ihr Stand $u_1'$ beobachtet.

5. Das Nordende des Magnetstabes wird östlich, auf 150 Millimeter gelegt. Die Boussole wird östlich abgelenkt und ihr Stand $u_2$ beobachtet.

6. Das Südende wird mit dem Nordende vertauscht. Die Boussole wird westlich abgelenkt und ihr Stand $u_2'$ beobachtet.

7. Das Nordende des Magnetstabes wird östlich, auf 750 Millimeter gelegt. Die Boussole wird östlich abgelenkt und ihr Stand $u_2''$ beobachtet.

8. Das Südende wird mit dem Nordende vertauscht. Die Boussole wird westlich abgelenkt und ihr Stand $u_2'''$ beobachtet.

9. Das Nordende des Magnetstabes wird östlich, auf 800 Millimeter gelegt. Die Boussole wird östlich abgelenkt und ihr Stand $u_1''$ beobachtet

10. Das Südende wird mit dem Nordende vertauscht. Die Boussole wird westlich abgelenkt und ihr Stand $u_1'''$ beobachtet.

11. Das Nordende des Magnetstabes wird östlich, auf 900 Millimeter gelegt. Die Boussole wird östlich abgelenkt und ihr Stand $u_0''$ beobachtet.

12. Das Südende wird mit dem Nordende vertauscht. Die Boussole wird westlich abgelenkt und ihr Stand $u_0'''$ beobachtet.

Diese 12 Beobachtungen können in einer halben Stunde fertig sein.

2. *Schwingungsversuche.*

Das Magnetstäbchen wird darauf an einem seidenen Faden horizontal aufgehangen und man lässt es schwingen und misst seine Schwingungsdauer auf bekannte Weise, die hier nicht weiter beschrieben zu werden braucht. In der Zeit einer Viertelstunde kann die Schwingungsdauer durch diese Versuche mit hinreichender Schärfe gefunden werden.

Fasst man alle Beobachtungen zusammen, die zu einer vollständigen Intensitätsmessung nach absolutem Maasse nöthig sind, und rechnet dabei eine Viertelstunde auf die Aufstellung des Apparates und auf die Aufhängung des Magnetstäbchens, so kann der experimentelle Theil in einer Stunde absolvirt sein. Es bleibt dabei dem Beobachter überlassen, ob er durch mehrmalige Wiederholung der Beobachtungen seiner Messung grössere Sicherheit und Genauigkeit verschaffen wolle.

Als Beispiel möge ein Satz solcher im physikalischen Kabinet zu Göttingen angestellter Beobachtungen dienen.

*Beispiel:*

Göttingen, 18. Jan. 1837.

1. *Ablenkungsversuche.*

1. $u_0 - u_0' = 23^0\ 9'$
2. $u_1 - u_1' = 47^0\ 42'$
3. $u_2 - u_2' = 71^0\ 48'$
4. $u_2'' - u_2''' = 69^0\ 21'$
5. $u_1'' - u_1''' = 46^0\ 12'$
6. $u_0'' - u_0''' = 22^0\ 27'$

Bei diesen Versuchen betrug der Abstand $R$ der Mitte des Magnetstäbchens von der Mitte der Boussole der Reihe nach:

1. $R_0 = 450$ mm
2. $R_1 = 350$ „
3. $R_2 = 300$ „
4. $R_2 = 300$ „
5. $R_1 = 350$ „
6. $R_0 = 450$ „

*2. Schwingungsversuche.*

| No. | Stand der Uhr | Zahl der Schwingungen | Ihre Dauer |
|---|---|---|---|
| 0. | 0′ 3,25″ | | |
| 1. | 9,90 | 1. | 6,65 |
| 2. | 16,65 | 2. | 13,40 |
| 3. | 23,35 | 3. | 20,10 |
| 4. | 30,00 | 4. | 26,75 |
| 5. | 36,65 | 5. | 33,40 |
| 6. | 43,30 | 6. | 40,05 |
| 7. | 50,00 | 7. | 46,75 |
| 8. | 56,70 | 8. | 53,45 |
| 9. | 1′ 3,30 | 9. | 60,05 |
| 10. | 9,80 | 10. | 66,55 |
| 11. | 16,55 | 11. | 73,30 |
| 12. | 23,30 | 12. | 80,05 |
| 13. | 29,90 | 13. | 86,65 |
| 14. | 36,65 | 14. | 93,40 |
| 15. | 43,15 | 15. | 99,90 |
| 16. | 49,80 | 16. | 106,55 |
| 17. | 56,65 | 17. | 113,40 |
| 18. | 2′ 3,25 | 18. | 120,00 |
| 19. | 9,95 | 19. | 126,70 |
| 20. | 16,70 | 20. | 133,45 |
| 21. | 23,35 | 21. | 140,10 |
| 22. | 30,00 | 22. | 146,75 |
| | | Summa 253. | 1687,40″ |

folglich die Dauer $t$ einer Schwingung:

$$t = 6{,}67''.$$

### 3. *Die Regeln zur Benutzung der Beobachtungen.*

Um die Regeln zur Benutzung dieser Beobachtungen, ohne in theoretische Betrachtungen einzugehen, übersichtlich und verständlich darzustellen, ist es am geeignetsten, aus dem für ein grösseres Publikum geschriebenen Aufsatze: „*Ueber Erdmagnetismus und Magnetometer*“, in Schumacher's Jahrbuche für 1836[1]), die darauf bezügliche Stelle hier zu wiederholen und die Gesetze, die dort in Worten ausgesprochen sind, in mathematischen Zeichen ausgedrückt, beizufügen. Es heisst daselbst Seite 18:

„Die Quadratzahl der Menge der Schwingungen einer Nadel in einer bestimmten nach Gefallen gewählten Zeit ist ein von der besonderen Beschaffenheit der Nadel abhängiges Maass der Stärke des Erdmagnetismus. Das Besondere der Nadel kommt hier aber in zweierlei Rück-

[1]) [Gauss' Werke, Bd. V, p. 315.]

sicht ins Spiel: einmal, insofern der Magnetismus, dessen Träger die Nadel ist, mehr oder weniger stark sein kann, zweitens, insofern die Nadel mehr oder weniger ponderable Masse, und in schwerer oder leichter zu bewegender Gestalt enthält. Die Absonderung des zweiten Theiles des Besonderen der Nadel ist nun nicht schwer. Der Einfluss des Erdmagnetismus auf die in der Nadel getrennten magnetischen Flüssigkeiten bewirkt eine Drehungskraft oder ein Drehungsmoment, insofern die Nadel nicht im magnetischen Meridian ist; dies Drehungsmoment ist desto grösser, je mehr die Nadel vom magnetischen Meridian abweicht, und am grössten in der gegen den Meridian rechtwinkeligen Stellung. Dies grösste Drehungsmoment wird immer stillschweigend verstanden, wenn vom Drehungsmoment schlechthin die Rede ist; es lässt sich angeben durch ein bestimmtes Gewicht, welches auf einen Hebelarm von bestimmter Länge wirkt, mithin durch eine Zahl, sobald man Gewichte und Längen, nach beliebig gewählten Einheiten, durch Zahlen ausdrückt. Nun hängt aber dieses Drehungsmoment auf eine einfache Art, welche die Dynamik lehrt, mit der Schwingungsdauer vermittelst einer durch Figur und Gewicht der Nadel bestimmten Zwischengrösse zusammen, die man ihr Trägheitsmoment nennt, und nach bekannten Regeln berechnen kann. Ist die Nadel nicht genau ein regelmässiger Körper, oder trägt sie, während sie schwingt, noch sonstigen Zubehör, so bedarf es freilich zur Ausmittelung des Trägheitsmomentes noch besonderer Vorkehrungen, welche hier anzugeben zu weitläufig sein würde: jedenfalls sind Mittel dazu in unserer Gewalt. Ist nun dies Trägheitsmoment bekannt, so kann man aus der beobachteten Schwingungsdauer der Nadel auf das Drehungsmoment zurückschliessen, welches der Erdmagnetismus durch seine Einwirkuug auf die magnetischen Flüssigkeiten in der Nadel hervorbringt.“

Bezeichnet man dieses Trägheitsmoment, nachdem es mit der Zahl $\pi^2$, d. i. 9,8696... multiplicirt und mit der doppelten Fallhöhe für die gewählte Zeiteinheit dividirt worden ist, durch den Buchstaben $C$; so kann man aus $C$ und aus der beobachteten Schwingungsdauer $t$ der Nadel oder des schwingenden Magnetstabs auf jenes grösste von der Erde ausgeübte Drehungsmoment zurückschliessen, und zwar lehrt die Dynamik, dass letzteres

$$= \frac{C}{t^2}$$

ist.

„Uebrigens ist es sehr wohl möglich, dies Drehungsmoment auch durch direkte Versuche ohne beobachtete Schwingungsdauer zu bestimmen: ein eigenthümlicher dazu dienender, seit Kurzem in der Göttinger Sternwarte aufgestellter Apparat zeigt sich aller nur zu wünschenden Schärfe fähig; allein für den gegenwärtigen Zweck ist es unnöthig, dabei zu verweilen.

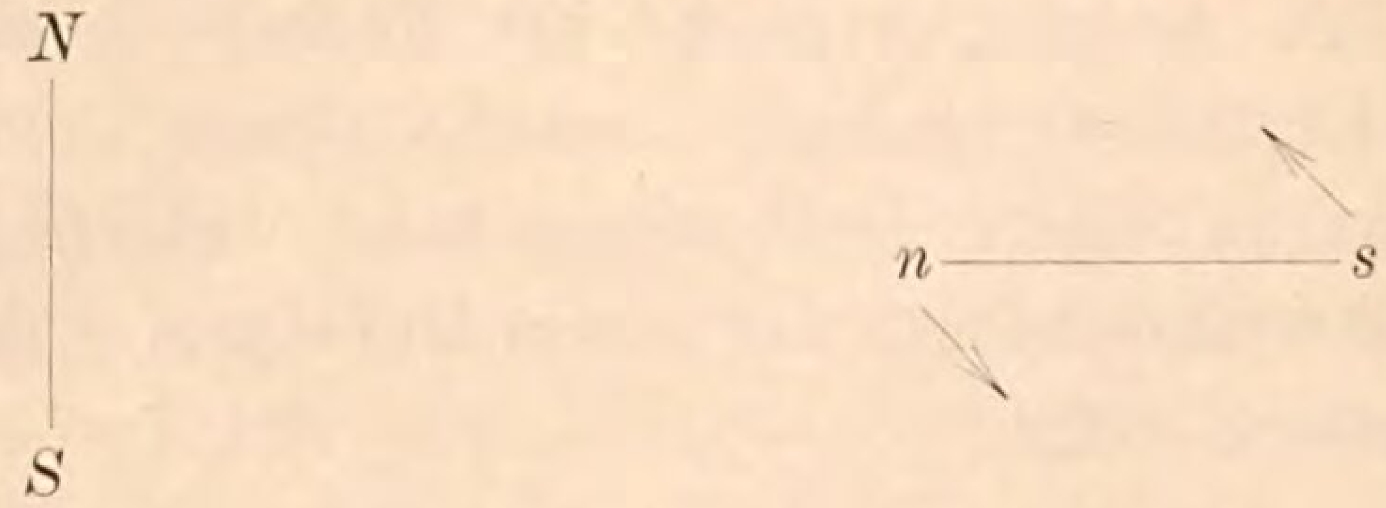
Dieses Drehungsmoment, welches der Erdmagnetismus an einer gegebenen Nadel erzeugt, bietet uns nun eine neue Abmessungsart der Stärke der erdmagnetischen Kraft dar, oder genauer zu reden, eine neue Form der vorigen Abmessungsart, vor welcher sie den Vorzug hat, dass der eine Theil der Individualität der Nadel nunmehro abgeschieden ist. Sie bleibt von dieser Individualität nur noch insofern abhängig, als in der Nadel ein stärkerer oder schwächerer Magnetismus entwickelt sein kann, und sobald wir *diesen* auf ein absolutes Maass zurückführen können, wobei das Besondere seines Trägers gar nicht mehr in Frage kommt, wird auch die Stärke des Erdmagnetismus selbst auf ein absolutes Maass zurückgeführt sein, da nur die Zahl, welche das Drehungsmoment ausdrückt, mit der Zahl, welche den Magnetismus der Nadel misset, dividirt zu werden braucht. In der That ist dann der Abmessung des Erdmagnetismus als Einheit eine solche diesem ähnlich gedachte Kraft untergelegt, deren Wirkung auf eine Einheit des Nadel-Magnetismus in einem Drehungsmoment besteht, welches durch den Druck der Gewichtseinheit auf einen Hebelarm von der Länge der Raumeinheit gemessen wird."

Bezeichnet also $T$ den Erdmagnetismus nach Unterlegung jener Einheit und $M$ den Magnetismus der Nadel oder des schwingenden Stabes, so ist

$$T = \frac{C}{t^2 . M}. \qquad \text{(I.)}$$

„Man könnte versucht sein zu glauben, dass die Last, welche eine Magnetnadel zu tragen vermag, als Maassstab für die Stärke des darin entwickelten Magnetismus dienen könne. Allein eine nähere Prüfung ergiebt, dass dieses Mittel für unseren Zweck ganz unbrauchbar ist. Die Bestimmung des Tragvermögens ist überhaupt keiner Schärfe fähig, indem wiederholte Versuche sehr verschiedene Resultate dafür geben können: aber, was viel wichtiger ist, dieses Tragvermögen steht mit der Grösse der Entwickelung des Magnetismus in der Nadel, in dem Sinn, wie sie hier zu verstehen ist, nämlich insofern sie das Drehungsmoment bestimmt, in gar keinem nothwendigen Zusammenhange. Bei dem Drehungsmoment kommt der Magnetismus in allen Theilen der Nadel, auf welchen der Erdmagnetismus gleichmässig und in parallelen Richtungen wirkt, in Betracht: bei dem Tragvermögen hingegen hauptsächlich der, ohnehin durch die Wechselwirkung des Magnetstabes und des angehängten Eisens augenblicklich modificirt werdende Magnetismus in dem der Last zunächst liegenden Ende. Zu dem hier vorliegenden Zweck sind lediglich solche Kraftwirkungen brauchbar, welche der Magnetismus aller Theile der Nadel fast gleichmässig und in fast parallelen Richtungen ausübt, also Wirkungen in beträchtlicher Entfernung.

Eine an einem bestimmten Platze befindliche Magnetnadel übt ihre magnetische Kraft in jedem Punkte des Raumes aus, in einer Stärke und Richtung, die durch die Entfernung und Lage bestimmt werden. In der Nähe ist diese Kraft stark, aber an verschiedenen Stellen sehr ungleich; in grossen Entfernungen zwar schwach, aber dann innerhalb eines mässigen Raumes an Stärke und Richtung fast gleich. Je grösser die Entfernung, desto mehr nähert sich das Gesetz der Kraft einer einfachen Regel, welche die Theorie vollständig angiebt: hier dürfen wir uns auf die Betrachtung eines Falles beschränken, der für unseren Zweck hinreicht. In einer horizontalen Fläche sei $NS$ die festliegende Magnetnadel, deren Kraftäusserung auf eine zweite $ns$ an einem Faden aufgehängte hier in Frage steht: beide in solcher gegenseitigen Lage, die die Figur hinreichend erklärt.

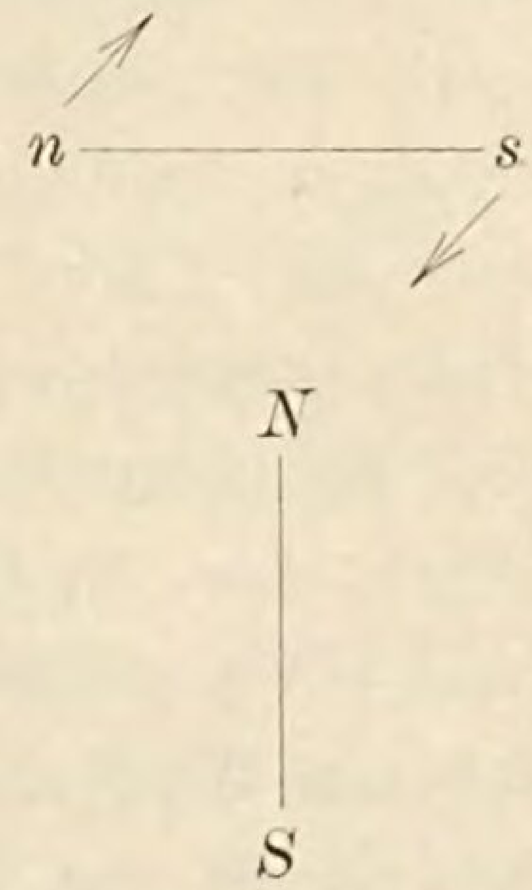



Die Wirkung der ersteren Nadel auf die andere wird dann in einem Bestreben, diese zu drehen, bestehen, und zwar in dem Sinn, den die Pfeile bezeichnen, wenn die Buchstaben $Nn$ gleichnamige Pole, z. B. die Nordpole bedeuten, mithin $Ss$ die Südpole. Das Drehungsmoment wird ganz auf gleiche Weise durch eine Zahl verständlich gemacht, wie oben bei der Einwirkung des Erdmagnetismus auf eine frei schwebende Nadel. Die Grösse dieses Drehungsmomentes hängt aber ab von der Entfernung und von der Stärke des Magnetismus in *beiden* Nadeln, so dass es z. B. bei gleicher (hinlänglich gross vorausgesetzter) Entfernung 6 mal stärker ausfällt, wenn die eine Nadel einen doppelt, die andere einen dreifach stärkeren Magnetismus trüge. Mit der Entfernung hängt aber die Wirkung so zusammen, dass bei doppelter Entfernung die Wirkung nur den 8., bei dreifacher nur den 27. Theil ihres Werthes bei einfacher Entfernung behält, wobei jedoch zu bemerken ist, dass dieses Gesetz nur für sehr grosse Entfernungen hinlänglich scharf, und auf kleine nicht auszudehnen ist. Da nun alle Entfernungen, nachdem für sie einmal ein Maass als Einheit gewählt ist, durch Zahlen ausgedrückt werden, so wird jenes Gesetz auch so ausgesprochen werden können, dass das Drehungsmoment mit dem Würfel der Entfernung multiplicirt für sehr grosse Entfernungen immer gleiches Resultat giebt, welches Produkt man füglich das auf die Entfernungseinheit *reducirte* Drehungsmoment nennen mag, ohne zu vergessen, dass nach der eben gemachten Bemerkung das in der Entfernungseinheit wirklich Statt findende Drehungs-

moment, falls jene klein ist, von dem reducirten bedeutend verschieden sein kann. Dies hindert aber durchaus nicht, das reducirte Drehungsmoment zu einem Maassstabe für den Magnetismus der Nadeln zu benützen, und *den Magnetismus derjenigen Nadel als Einheit zu betrachten, welche einer anderen einen ebenso grossen Magnetismus tragenden in der bezeichneten Lage ein reducirtes Drehungsmoment ertheilt, welches dem Druck der Gewichtseinheit an einem Hebelarm von der Länge der Entfernungseinheit gleichkommt.*"

Bezeichnet man nach dieser für den Nadel- oder Stabmagnetismus festgesetzten Einheit den Magnetismus der Nadel mit $m$, den Magnetismus des Stabes mit $M$, die grosse Entfernung beider von einander mit $R$ und das vom Stabe auf die Nadel ausgeübte Drehungsmoment mit $f$; so ist hiernach das reducirte Drehungsmoment

$$mM = fR^3.$$




Die Lage des Stabes zur Nadel, die hier angenommen wurde, fand bei den oben beschriebenen Versuchen nicht Statt, sondern eine andere durch nebenstehende Figur erläuterte Lage. Doch gilt auch für diese Lage, was von jener galt, mit dem einzigen Unterschiede, dass der Werth von $f$ ein anderer ist, der mit $F$ bezeichnet werden soll. In der Abhandlung: *Intensitas* etc. wird bewiesen, dass

$$F = 2f$$

ist, und folglich

$$mM = \frac{FR^3}{2}. \qquad \text{(II.)}$$

Die in der Folge anzuführenden Formeln werden sich immer auf diesen zweiten Fall beziehen, um von ihnen später die Anwendung auf die oben beschriebenen Versuche zu machen.

„Auf diese Weise haben wir also einen völlig klaren präcisen Begriff für die Abmessung der magnetischen Kraft einer Magnetnadel gewonnen. Eine Nadel von der zweifachen Kraft wird dann einer ihr gleich-magnetisirten ein reducirtes Drehungsmoment = 4 ertheilen u. s. w., und allgemein wird man, sobald man die Zahl für das reducirte Drehungsmoment kennt, welches eine Nadel einer ihr gleichen ertheilt, in der Quadratwurzel aus jener Zahl das absolute Maass für die Stärke des Magnetismus jeder der beiden Nadeln haben.

Es bleibt also, um die Stärke des Erdmagnetismus auf absolutes Maass zurückführen zu können, nur noch übrig, ein Verfahren anzugeben, wodurch das Drehungsmoment, welches eine Nadel einer ihr gleichen in beträchtlicher Entfernung und in der in der Figur dargestellten Lage ertheilt, mit Schärfe bestimmt werden kann. Bei einer oberflächlichen Erwägung des im Vorhergehenden absichtlich noch bei Seite gesetzten Umstandes, dass es unmöglich ist, diese so sehr schwache Wirkung der Nadel $NS$ auf die Nadel $ns$ (welche wir einstweilen genau ebenso stark magnetisirt wie $NS$ voraussetzen wollen) für sich rein zu beobachten, da

sich letztere der überall gegenwärtigen und viel stärker wirkenden erdmagnetischen Kraft nicht entziehen lässt, könnte man diese Aufgabe für sehr schwer halten: allein gerade umgekehrt wird durch diesen Umstand selbst eine leichte Lösung gegeben. Nehmen wir an, dass in unserer Figur die gerade Linie von der Mitte der Nadel $NS$ durch die Nadel $ns$ mit dem magnetischen Meridian (von Norden nach Süden zu) zusammenfalle, so wird in dieser Lage die erdmagnetische Kraft noch gar nicht auf die Nadel $ns$ wirken; so wie aber die Drehungskraft, welche $NS$ auf $ns$ ausübt, ihr Spiel anfängt, wird $ns$ von ihrer ersten Lage abgelenkt werden, und in Bewegung kommen; allein je mehr sie sich in Folge dieser Bewegung von der ersten Richtung entfernt, desto stärker strebt der Erdmagnetismus, sie dahin zurückzuführen. Die Nadel macht also Schwingungen, deren Mitte aber nicht mehr die Lage im magnetischen Meridian selbst, sondern eine dagegen mehr oder weniger geneigte ist. Diese Mitte ist zugleich die Gleichgewichtslage von der Nadel $ns$, welche sie annimmt, wenn die Schwingungen zur Ruhe gekommen sind. Offenbar ist ihre Richtung nichts anderes, als das Resultat der Zusammensetzung der beiden Kräfte, welche an dem Platz der Nadel $ns$ der Erdmagnetismus und der Magnetismus der Nadel $NS$ ausüben, und die unseren Vorraussetzungen zufolge um einen rechten Winkel verschiedene Richtungen haben. Nach bekannten Lehren der Statik ist also das Verhältniss der Stärke dieser Kräfte, welches zugleich das Verhältniss der durch sie erzeugten Drehungsmomente ist, aus dem Ablenkungswinkel bestimmbar, d. i. aus der Ungleichheit der beiden Ruhelagen von $ns$, einmal wenn beide Kräfte wirken, zweitens wenn $NS$ ganz entfernt ist. Hier bietet sich nun aber noch eine wichtige Bemerkung dar. Nämlich der Ablenkungswinkel der Nadel $ns$ ist von der Stärke ihrer Magnetisirung ganz unabhängig, da bei verstärkter Magnetisirung offenbar *beide* Drehungsmomente in gleichem Verhältniss wachsen. Wir werden dadurch der sonst allerdings schwer zu erfüllenden Bedingung, dass $ns$ einen ebenso starken Magnetismus trage, wie $NS$, ganz enthoben.“

Bezeichnet man die Ablenkung mit $v$, das von der Erde auf die Nadel ausgeübte grösste Drehungsmoment (dem für den Erdmagnetismus festgesetzten Maasse gemäss) mit $mT$, und mit $F$, wie früher, das vom Stabmagnetismus ($=M$) auf den Nadelmagnetismus ($=m$) aus der Entfernung $=R$ ausgeübte Drehungsmoment; so verhalten sich die von der Erde auf die Nadel und vom Stabe auf die Nadel ausgeübten Kräfte zu einander, wie der Cosinus zum Sinus der Ablenkung $v$, und eben so verhalten sich die Drehungsmomente $mT$ und $F$ zu einander, oder es ist

$$mT : F = \cos v : \sin v,$$

d. i.

$$mT = \frac{F}{\operatorname{tang} v}. \qquad \text{(III.)}$$

Dividirt man nun die Gleichung (II.) mit (III.), so erhält man

$$\frac{mM}{mT} = \frac{FR^3 \,.\, \text{tang}\, v}{2F},$$

woraus die Unabhängigkeit der Ablenkung $v$ von dem Nadelmagnetismus $m$ und der Grösse des Drehungsmoments $F$ von selbst hervorgeht, und das einfache Resultat erhalten wird

$$\frac{M}{T} = \frac{R^3 \,.\, \text{tang}\, v}{2}. \qquad \text{(IV.)}$$

„Es reducirt sich also die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus auf zwei Hauptgeschäfte.

I. Man beobachtet die Schwingungsdauer einer Nadel $NS$, und berechnet daraus das Drehungsmoment, welches der Erdmagnetismus auf diese Nadel ausübt.“

Dieses Drehungsmoment wird, den festgesetzten Einheiten gemäss, durch das Produkt $MT$ ausgedrückt und nach der Gleichung (I.)

$$T = \frac{C}{M \,.\, t^2} \quad \text{oder} \quad MT = \frac{C}{t^2}$$

berechnet, worin $C$ das Trägheitsmoment des Stabes, mit der Zahl $\pi^2$, d. i. 9,8696 . . multiplicirt und mit der doppelten Fallhöhe für die gewählte Zeiteinheit dividirt, bezeichnet.

II. „Man hängt eine zweite Nadel $ns$ auf, beobachtet ihre Einstellung zuerst unter dem reinen Einfluss des Erdmagnetismus, und nachher, indem $NS$ in beträchtlicher Entfernung, so wie es die Figur zeigt, aufgelegt ist. Aus dem Unterschiede beider Stellungen oder der Ablenkung, berechnet man, welch ein Bruchtheil die Kraft der Nadel $NS$ von der erdmagnetischen Kraft in der gewählten Entfernung ist; ein eben so grosser Bruchtheil von dem in I. gefundenen Drehungsmoment lehrt uns das Drehungsmoment kennen, welches in jener Entfernung die Nadel $NS$ einer ihr gleichen ertheilen würde; dies Resultat mit dem Würfel der Entfernung multiplicirt, giebt das reducirte Drehungsmoment; die Quadratwurzel daraus die Kraft der Nadel $NS$ im absoluten Maass; endlich die in I. gefundene Zahl mit dieser Quadratwurzel dividirt, giebt die Zahl für das absolute Maass des Erdmagnetismus.“

Der Bruchtheil, den die Kraft des Stabes auf die Nadel (in der gewählten Entfernung $R$ von der Nadel) von der erdmagnetischen Kraft auf die Nadel ausmacht, wird durch den Quotienten

$$\frac{F}{mT}$$

ausgedrückt und nach der Gleichung (III.)

$$mT = \frac{F}{\text{tang}\, v} \quad \text{oder} \quad \frac{F}{mT} = \text{tang}\, v$$

berechnet. Nun ist aber auch, nach der Gleichung (II.),

$$mM = \frac{FR^3}{2} \quad \text{oder} \quad \frac{F}{mT} = \frac{2M}{R^3 T}.$$

Dieser Bruchtheil von dem nach Gleichung (I.) berechneten Drehungsmomente

$$MT = \frac{C}{t^2}$$

genommen, d. i.

$$\frac{2M}{R^3T} \cdot MT = \frac{C}{t^2} \cdot \operatorname{tang} v,$$

lehrt das grösste Drehungsmoment kennen, welches der Stab mit dem Magnetismus $M$ aus der Entfernung $R$ auf einen eben solchen Stab ausüben würde; denn jenes grösste Drehungsmoment soll nach den Grundgesetzen des Magnetismus $= \frac{2M^2}{R^3}$ sein; obige Gleichung aber giebt

$$\frac{2M^2}{R^3} = \frac{C}{t^2} \cdot \operatorname{tang} v.$$

Dies Resultat mit dem Würfel der Entfernung $R$ multiplicirt, giebt das reducirte Drehungsmoment verdoppelt

$$2M^2 = \frac{CR^3 \operatorname{tang} v}{t^2}.$$

Die Quadratwurzel aus der Hälfte giebt die Kraft des Stabes im absoluten Maass

$$M = \frac{1}{t}\sqrt{\frac{CR^3 . \operatorname{tang} v}{2}}. \qquad \text{(V.)}$$

Dividirt man endlich damit das nach Gleichung (I.) berechnete Drehungsmoment der Erde auf die Nadel

$$MT = \frac{C}{t^2},$$

so erhält man

$$T = \frac{1}{t}\sqrt{\frac{2C}{R^3 \operatorname{tang} v}}, \qquad \text{(VI.)}$$

d. i. die Zahl für das absolute Maass des Erdmagnetismus.

„Ohne mathematische Zeichen zu gebrauchen, schien diese Darstellung der Möglichkeit, die Stärke des Erdmagnetismus durch eine Zahl auszudrücken, die von der Individualität der benutzten Magnetnadeln völlig unabhängig ist, am leichtesten verständlich: bei der wirklichen Anwendung erscheint einiges in einer etwas verschiedenen Gestalt, die aber für das Wesen der Methode gleichgültig ist, auch sind dann noch manche Nebenumstände zu berücksichtigen. Nur über ein paar Umstände wollen wir hier noch einiges beifügen.

Man hat gesehen, dass die den Abmessungen untergelegten Einheiten nur in einer Entfernungseinheit und einer Gewichtseinheit bestanden. Man muss aber nicht übersehen, dass eine Gewichtsgrösse, z. B. ein Gramm, hier nicht das Quantum ponderabler Materie bedeutete, welches diesen Namen führt, und welches überall dasselbe ist, sondern den Druck, welchen dieses Quantum Materie unter dem Einfluss der Schwerkraft an dem Beobachtungsorte ausübt. Diese Schwerkraft ist aber bekanntlich an verschiedenen Orten nicht ganz gleich, und wenn

wir daher den Druck eines Grammes als Gewichtseinheit wählten, so würde nach aller Strenge die Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten nicht mit gleichem Maasse gemessen werden. Bei der grossen Schärfe, deren die Messungen gegenwärtig fähig sind, ist es billig, diesen Unterschied nicht zu vernachlässigen. Am natürlichsten ist es, ihn dadurch zu berücksichtigen, dass man die Schwerkraft selbst auf ein absolutes Maass zurückführt, indem man als ihr Maass die doppelte Fallhöhe in der gewählten Zeiteinheit, z. B. in einer Sekunde, annimmt, und den Druck durch das Produkt der Masse in die Zahl, die die Schwerkraft misset, ausdrückt. Man übersieht leicht, dass auf diese Weise andere Zahlen sowohl für die Kraft der angewandten Magnetnadel, als für die erdmagnetische Kraft hervorgehen[1]), deren Grundlagen anstatt der vorigen zwei Einheiten jetzt drei sein werden, eine Entfernungseinheit, eine Zeiteinheit und eine Masseneinheit."

Bei der Berechnung der Zahlen $M$ und $T$ nach den Gleichungen (V.) und (VI.)

$$M = \frac{1}{t}\sqrt{\frac{CR^3 . \operatorname{tang} v}{2}}$$

$$T = \frac{1}{t}\sqrt{\frac{2C}{R^3 \operatorname{tang} v}},$$

war der Konstanten $C$ der Werth zugeschrieben worden

$$C = \frac{\pi^2}{g} . K,$$

wo $\pi$ die bekannte Zahl 3,14159 ..., $g$ die doppelte Fallhöhe in der gewählten Zeiteinheit, $K$ das Trägheitsmoment des schwingenden Stabes bezeichnete. Die neuen Zahlen erhält man nach denselben Gleichungen, sobald man darin $C$ blos den Werth zuschreibt:

$$C = \pi^2 K$$

„Eine Hauptschwierigkeit bei Anwendung der Methode liegt noch darin, dass das oben angeführte Gesetz (die verkehrte Proportionalität der Wirkung einer Magnetnadel zu dem Würfel der Entfernung) in zulänglicher Schärfe nur für sehr grosse Entfernungen gültig ist, in welchen die Wirkungen zu klein sind, um unmittelbar mit Schärfe beobachtet werden zu können. In mässigen Entfernungen machen sich die Abweichungen von dem Gesetze schon sehr merklich: allein die Theorie lehrt, dass in diesen Abweichungen selbst wiederum Gesetzmässigkeit Statt findet, und die Mathematik giebt Mittel an die Hand, durch Kombination *mehrerer* in mässigen aber ungleichen Entfernungen gemachter Versuche diese Abweichungen zu erkennen, und so gut wie ganz zu eliminiren."

---

[1]) Sie stehen zu den vorigen in demselben Verhältniss, wie die Quadratwurzel aus der Zahl, die die Schwerkraft misset, zu der Zahl Eins.

Der Anwendung auf die mit dem kleinen Messungsapparate gemachten, oben mitgetheilten Beobachtungen wegen, möge aus der Abhandlung: *Intensitas* etc. endlich noch kurz das nothwendige Korrektionsverfahren angeführt werden, welches ein dreifaches ist, nämlich:

1. Es werden für die Ablenkungen $v_0$, $v_1$, $v_2$ etc. der Boussole durch das aus verschiedenen Entfernungen $R_0$, $R_1$, $R_2$ etc. wirkende Magnetstäbchen nicht die unmittelbaren Beobachtungswerthe, sondern folgende kombinirten Werthe genommen.

$$v_0 = \tfrac{1}{4}(u_0 - u_0' + u_0'' - u_0''')$$
$$v_1 = \tfrac{1}{4}(u_1 - u_1' + u_1'' - u_1''')$$
$$v_2 = \tfrac{1}{4}(u_2 - u_2' + u_2'' - u_2''') \text{ etc.}$$

2. Es werden zu den genäherten Werthen von $\frac{M}{T}$, welche durch die Gleichung (IV.)

$$\frac{M}{T} = \frac{R^3 \operatorname{tang} v}{2}$$

erhalten werden, folgende Korrektionen hinzugefügt:

| *Nährungswerth für* $\frac{M}{T}$ | *Korrektion* |
|---|---|
| $\frac{R_0{}^3 \operatorname{tang} v_0}{2}$ | $-\frac{L}{R_0{}^2}$ |
| $\frac{R_1{}^3 \operatorname{tang} v_1}{2}$ | $-\frac{L}{R_1{}^2}$ |
| $\frac{R_2{}^3 \operatorname{tang} v_2}{2}$ etc. | $-\frac{L}{R_2{}^2}$ etc. |

3. Es werden die Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung angewandt (weil die Zahl der gemessenen Grössen $R_0$, $R_1$, $R_2$ etc. und $v_0$, $v_1$, $v_2$ etc. grösser ist, als zur Bestimmung der unbekannten Grössen $L$ und $\frac{M}{T}$ erfordert wird), um die wahrscheinlichsten Werthe von $L$ und $\frac{M}{T}$ hieraus zu berechnen. Diese Regeln sind folgende:

Aus den gemessenen Grössen $R_0$, $R_1$, $R_2$ etc. $v_0$, $v_1$, $v_2$ etc. berechne man folgende Ausdrücke:

$$\frac{\operatorname{tang} v_0}{R_0{}^3} + \frac{\operatorname{tang} v_1}{R_1{}^3} + \frac{\operatorname{tang} v_2}{R_2{}^3} \text{ etc.} = A$$
$$\frac{\operatorname{tang} v_0}{R_0{}^5} + \frac{\operatorname{tang} v_1}{R_1{}^5} + \frac{\operatorname{tang} v_2}{R_2{}^5} \text{ etc.} = A'$$
$$\frac{1}{R_0{}^6} + \frac{1}{R_1{}^6} + \frac{1}{R_2{}^6} \text{ etc.} = B$$

$$\frac{1}{R_0{}^8} + \frac{1}{R_1{}^8} + \frac{1}{R_2{}^8} \text{ etc.} = B'$$

$$\frac{1}{R_0{}^{10}} + \frac{1}{R_1{}^{10}} + \frac{1}{R_2{}^{10}} \text{ etc.} = B'';$$

so ist der wahrscheinlichste Werth von

$$L = \frac{1}{2} \cdot \frac{AB' - A'B}{B'^2 - BB''}$$

$$\frac{M}{T} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A'B' - AB''}{B'^2 - BB''} = r.$$

Mit Zuziehung der Gleichung (I.)

$$MT = \frac{C}{t^2}$$

ergiebt sich dann

$$M = \frac{1}{t} \sqrt{rC} \qquad \text{(VII.)}$$

$$T = \frac{1}{t} \sqrt{\frac{C}{r}}. \qquad \text{(VIII.)}$$

Nach diesen Gesetzen und Formeln lassen sich nun auch die mit dem oben beschriebenen kleinen Messungsapparat gemachten Versuche berechnen und die Grösse des Stab- und Erdmagnetismus in absolutem Maasse bestimmen.

4. *Die Berechnung der mit dem beschriebenen Messungsapparat gemachten Beobachtungen nach den eben angeführten Regeln.*

Mit dem beschriebenen Messungsapparate waren 1. Ablenkungsversuche gemacht und dadurch die Werthe von $u_0 - u_0'$, $u_1 - u_1'$, $u_2 - u_2'$, $u_2'' - u_2'''$, $u_1'' - u_1'''$, $u_0'' - u_0'''$ und die zugehörigen Werthe von $R$, nämlich $R_0$, $R_1$, $R_2$, $R_2$, $R_1$, $R_0$ gefunden worden. Daraus lassen sich nun zunächst die Werthe von $v_0$, $v_1$, $v_2$ berechnen, welche den Werthen $R_0$, $R_1$, $R_2$ entsprechen. Daraus lassen sich wieder die Werthe von $A$, $A'$, $B$, $B'$, $B''$ ableiten; denn sie sind alle blos Funktionen der sechs Grössen $v_0$, $v_1$, $v_2$, $R_0$, $R_1$, $R_2$. Daraus endlich lässt sich wieder der Werth von $r$ ableiten, welcher blos eine Funktion der Grössen $A$, $A'$, $B$, $B'$, $B''$ ist. So ergiebt sich durch Rechnung der Werth von $r$ aus den gemachten Ablenkungsversuchen. Mit dem beschriebenen Messungsapparate waren aber 2. Schwingungsversuche gemacht worden und dadurch der Werth der Schwingungsdauer $t$ gefunden worden. Nachdem man die Werthe von $r$ und $t$ aus den Beobachtungen berechnet hat, genügt es für alle Zwecke, die man auf der Reise verfolgt,

$$\frac{1}{t\sqrt{r}}$$

zu berechnen; denn dieser Werth ist der Zahl proportional, welche den Erdmagnetismus nach absolutem Maasse ausdrückt, und genügt also zur *Vergleichung* der absoluten Intensität an allen Orten, wo solche Versuche gemacht wurden: eine solche *Vergleichung* ist aber der einzige Zweck auf Reisen. Beabsichtigt man aber keine blosse Vergleichung der absoluten Intensität an mehreren Orten, sondern die Kenntniss der Zahl selbst, welche für jeden Ort die Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maasse ausdrückt, z. B. um für den Fall, wo dieser Messungsapparat auf der Reise verloren ginge und durch einen neuen ersetzt werden müsste, die beiden mit zwei nicht mehr vergleichbaren Apparaten gewonnenen Reihen von Resultaten vergleichbar zu machen; so braucht man blos das Trägheitsmoment des Magnetstäbchens, dessen Schwingungsdauer beobachtet worden ist, zu berechnen und die Quadratwurzel davon zu nehmen. Das Produkt jener Grösse $\frac{1}{t\sqrt{r}}$ in diese Quadratwurzel und in die Zahl $\pi = 3{,}14159\ldots$ giebt den Erdmagnetismus in einer Zahl, nach absolutem Maasse ausgedrückt. Darum ist es bequem, wenn das Stäbchen recht genau parallelepipedisch gearbeitet ist, weil man alsdann für den vorliegenden Zweck das Trägheitsmoment sogleich aus dem Gewichte $p$, der Länge $a$ und der Breite $b$ des Stäbchens berechnen kann. Es ist nämlich bekannt, dass das Quadrat $a^2 + b^2$ der Diagonale der Oberfläche des parallelepipedischen Stäbchens, mit der Masse des Gewichts $p$ multiplicirt und mit 12 dividirt das gesuchte Trägheitsmoment giebt, für den Fall, wo das Stäbchen im Mittelpunkte jener Fläche aufgehangen wird, dass folglich in den Gleichungen (VII) und (VIII)

$$C = 9{,}8696\ldots\frac{a^2 + b^2}{12}\cdot p$$

ist.

Vergleicht man mit diesen Formeln die oben angeführten Beobachtungen, so findet man, dass folgende Grössen unmittelbar gemessen und für sie folgende Werthe gefunden worden sind:

$$u_0 - u_0' = 23^0\ 9' \qquad u_2'' - u_2''' = 69^0\,21'$$
$$u_1 - u_1' = 47^0\,42' \qquad u_1'' - u_1''' = 46^0\,12'$$
$$u_2 - u_2' = 71^0\,48' \qquad u_0'' - u_0''' = 22^0\,27'$$

$$R_0 = 450\text{ mm} \qquad R_1 = 350\text{ mm} \qquad R_2 = 300\text{ mm}$$

$$t = 6{,}67''$$

$$a = 101{,}0\text{ mm} \qquad b = 17{,}5\text{ mm}$$
$$p = 142000\text{ mgr.}$$

Hieraus berechnet man zunächst

$$v_0 = \tfrac{1}{4}(23^0\ 9' + 22^0\ 27') = 11^0\ 24{,}00'$$
$$v_1 = \tfrac{1}{4}(47^0\ 42' + 46^0\ 12') = 23^0\ 28{,}50'$$
$$v_2 = \tfrac{1}{4}(71^0\ 48' + 69^0\ 21') = 35^0\ 17{,}25'.$$

Legt man nun die Sekunde und das Millimeter als Zeit- und Raummaass der Rechnung zu Grunde, so berechnet man aus den gefundenen Werthen von $R_0$, $R_1$, $R_2$, $v_0$, $v_1$, $v_2$ wiederum folgende Werthe von $A$, $A'$, $B$, $B'$, $B''$, nämlich:

$$A = \frac{\text{tang } 11^0\,24'}{450^3} + \frac{\text{tang } 23^0\,28{,}5'}{350^3} + \frac{\text{tang } 35^0\,17{,}25'}{300^3} = \frac{385{,}54}{10^{10}};$$

$$A' = \frac{\text{tang } 11^0\,24'}{450^5} + \frac{\text{tang } 23^0\,28{,}5'}{350^5} + \frac{\text{tang } 35^0\,17{,}25'}{300^5} = \frac{384{,}86}{10^{15}};$$

$$B = \frac{1}{450^6} + \frac{1}{350^6} + \frac{1}{300^6} = \frac{2{,}0362}{10^{15}};$$

$$B' = \frac{1}{450^8} + \frac{1}{350^8} + \frac{1}{300^8} = \frac{2{,}0277}{10^{20}};$$

$$B'' = \frac{1}{450^{10}} + \frac{1}{350^{10}} + \frac{1}{300^{10}} = \frac{2{,}0855}{10^{25}}.$$

Hieraus wird $r$ berechnet:

$$r = \frac{1}{2} \cdot \frac{385{,}54 \,.\, 2{,}0855 - 384{,}86 \,.\, 2{,}0277}{2{,}0362 \,.\, 2{,}0855 - 2{,}0277^2} \,.\, 10^5$$

oder

$$r = 8765000.$$

Endlich berechnet man aus diesem Werthe von $r$ und dem durch die Beobachtung gefundenen Werthe von $t$ den Werth:

$$\frac{1}{t\sqrt{r}} = \frac{1}{6{,}67 \,.\, \sqrt{8765000}} = \frac{5{,}0641}{10^5}.$$

Diese Zahl genügt zur Vergleichung aller mit dem nämlichen Apparate gemessenen Intensitäten, wie verschieden auch der magnetische Zustand des Apparats bei ihnen sein mochte.

Die Zahl $T$, welche den gemessenen Erdmagnetismus nach absolutem Maass ausdrückt, wird daraus gefunden, wenn man noch den Werth von $C$ aus den Beobachtungen ableitet, und mit seiner Quadratwurzel die vorige Zahl multiplicirt. Man berechnet aber $C$ aus den beobachteten Werthen von $a$, $b$ und $p$, die Masse des Milligramms zur Masseneinheit genommen,

$$C = 9{,}8696 \,.\, \frac{101^2 + 17{,}5^2}{12} \,.\, 142000 = 0{,}12272 \,.\, 10^{10}$$

und hieraus berechnet man $T$

$$T = 5{,}0641 \,.\, \sqrt{0{,}12272} = 1{,}774.$$

### 5. *Betrachtung des gefundenen Resultats.*

Diese für die Intensität des Erdmagnetismus am 18. Januar 1837 gefundene Zahl:

1,774

hat als ein absolutes Maass jener Intensität den Vortheil, mit denjenigen Zahlen unmittelbar verglichen werden zu können, welche vor mehreren Jahren, nämlich im Juli 1834, mit dem Magnetometer des Göttingischen magnetischen Observatoriums gefunden und in den Göttingischen gelehrten Anzeigen jenes Jahres, im 128. Stücke[1]) (wo nähere Nachricht sowohl über das neu errichtete Gebäude und die darin aufgestellten Instrumente, als auch über die ersten darin ausgeführten Versuche gegeben wurde) mitgetheilt worden sind, nämlich:

17. Juli ..... 1,7743
20. „ ..... 1,7740
21. „ ..... 1,7761

ungeachtet zwei zu gleichem Zwecke bestimmte Apparate fast nicht ungleicher und unähnlicher sein können, als der eben beschriebene Apparat und das Magnetometer. Es ergiebt sich aus der Vergleichung, dass der Erdmagnetismus in Göttingen in den Jahren 1834 bis 1837 fast unverändert geblieben ist. Eben so kann diese Zahl auch mit derjenigen Zahl unmittelbar verglichen werden, welche aus den Beobachtungen mit einem dritten Apparate, der wieder von beiden vorigen ganz verschieden war, für München im Jahre 1836 April 1. abgeleitet worden ist, nämlich:

1,905

und mit der Zahl, welche in Mailand mit dem dortigen Magnetometer im Oktober 1836 gefunden worden ist, nämlich:

2,01839.

Um die Bedeutung dieser Zahlen, deren Auffindung und eigenthümliche Anwendung uns bisher beschäftigt hat, sich leicht zu vergegenwärtigen, denke man sich eine Menge kleiner und gleicher Stahlstäbe (jeden etwa $2^1/_2$ Gramm oder $^1/_6$ Loth schwer). Ferner denke man sich eine Wage, deren Armlänge sich zu 1 Meter verhält, wie 1 Meter zur einfachen Fallhöhe in 1 Sekunde (nahe 204 Millimeter) und binde einen von jenen Stahlstäben an den horizontalen Wagebalken parallel damit an, so aber, dass das Gleichgewicht der Wage dadurch nicht gestört wird. Darauf mache man alle Stäbchen (auch das an den Wagebalken gebundene) *gleich stark magnetisch* und zwar in solchem Maasse, dass, wenn man unter die Wage 1 Meter weit von dem angebundenen Magnet-

[1]) [Gauss' Werke, Bd. V, p. 524.]

stäbchen ein anderes Magnetstäbchen vertikal aufstellt, $\frac{1}{1000}$ Milligramm auf die Wageschale gelegt werden muss, um das Gleichgewicht der Wage unverändert zu erhalten. Nachdem der Magnetismus aller Stäbchen auf diese Weise geregelt worden ist, lege man ein solches Stäbchen horizontal und rechtwinkelig gegen eine kleine Boussole, 1 Meter senkrecht unter das Centrum der Boussole, und sorge dafür, dass, indem die Boussole von dem magnetischen Meridian abgelenkt wird, auch das Stäbchen gedrehet werde, so, dass die rechtwinkelige gegenseitige Lage erhalten wird, und berechne endlich die Kraft, wie vieler solcher Stäbchen vereint wirken müssten, um die Ablenkung der Boussole auf 90° zu bringen. Die Zahl dieser Stäbe giebt den Erdmagnetismus in Tausendtheilen seines absoluten Maasses an.

Umgekehrt darf man sich unter jener Zahl, welche den Erdmagnetismus nach seinem absoluten Maasse darstellt, die Zahl jener Stäbchen, zu Tausenden gerechnet, vorstellen, deren Kräfte vereint werden müssen, um aus der Entfernung eines Meters eine Ablenkung der Boussole von 90° zu bewirken. Es würde zu diesem Zwecke

in *Göttingen* die Kraft von 1775 Stäben,
„ *München* „ „ „ 1905 „
„ *Mailand* „ „ „ 2018 „

vereinigt werden müssen.

### 6. *Ueber die Vortheile der gewählten Dimensionen des kleinen Messungsapparates.*

Zum Schlusse dieses Aufsatzes soll noch einiges über die Genauigkeit bemerkt werden, die man mit dem beschriebenen kleinen Messungsapparate in der absoluten Intensitätsmessung erreichen kann, und worauf sie beruht. Es ist schon im Eingange bemerkt worden, dass die absolute Intensitätsmessung mit der Genauigkeit, die sie verdient, nur mit dem Magnetometer gemacht werden kann. Es bedarf daher keiner besonderen Erwähnung, dass jene Genauigkeit mit dem beschriebenen kleinen Apparate zu erreichen unmöglich ist. Um jedoch nur ein genähertes Resultat damit zu erreichen, müssen alle damit vereinbaren Vortheile benutzt werden. Die wahre Schwierigkeit einer genauen Intensitätsmessung mit anderen Instrumenten als mit dem Magnetometer ist in dem Aufsatze „*Ueber Erdmagnetismus und Magnetometer*“ [1]) mit folgenden Worten bezeichnet worden:

„Immer aber dürfen, wenn diese Elimination zulässig sein soll, die

[1]) [Gauss' Werke, Bd. V, p. 332.]

Versuche nicht bei zu kleinen Entfernungen angestellt werden: die Wirkungen bleiben daher allemal vergleichungsweise nur kleine, zu deren scharfer Abmessung die früher gebräuchlichen Mittel bei weitem nicht zureichten. Gerade dieses Bedürfniss hat die Darstellung eines neuen Apparates veranlasst, der wohl am schicklichsten mit dem Namen *Magnetometer* bezeichnet werden kann, da er dazu dient, alle Grössenbestimmungen sowohl in Beziehung auf die magnetische Kraft der Nadeln, als in Beziehung auf den Erdmagnetismus, wenigstens den horizontalen Theil desselben, mit einer Genauigkeit auszuführen, die der Schärfe der feinsten astronomischen Bestimmungen gleich kommt. Man bestimmt damit die Richtung des Erdmagnetismus auf eine oder ein paar Bogensekunden genau; man beobachtet Anfang und Ende einer Schwingung auf einige Hunderttheile einer Zeitsekunde sicher, also schärfer, als die Antritte der Sterne an den Fäden eines Passagen-Instruments."

Es sind also besonders zwei Umstände, von denen die Genauigkeit einer absoluten Intensitätsmessung abhängt, nämlich *erstens*, die Grösse der hervorgebrachten Ablenkung; *zweitens*, die Feinheit der Mittel, diese Ablenkung zu messen. Bei Konstruktion eines Apparates zu absoluten Intensitätsmessungen kann man daher im Allgemeinen zwei verschiedene Wege versuchen, man kann entweder die Vergrösserung der Ablenkuug zur Hauptsache machen und dabei nur so viel wie möglich die Messungsmittel berücksichtigen, oder man kann die Feinheit der Messungsmittel zur Hauptsache machen und dabei nur so viel wie möglich die Grösse der Ablenkungen berücksichtigen; der letztere Weg führt aber viel weiter als der erstere, aus dem Grunde, weil die Vergrösserung der Ablenkung bald eine Grenze erreicht, wegen der nothwendig zu erfüllenden Bedingung der grossen Entfernung des Ablenkungstabs von der Magnetnadel, in Folge deren die von ihm hervorgebrachte Ablenkung allemal klein sein wird. Verzichtet man aber von Haus aus auf die grösste Feinheit der Messung schon dadurch, dass man die Magnetnadel, statt sie an einem feinen Faden aufzuhängen, sich auf einer Spitze drehen lässt, wo dann die Feinheit der Messung durch die Reibung der Spitze ganz illusorisch wird; so bleibt der erstere an sich freilich viel weniger vortheilhafte Weg allein übrig und man muss sich dann wenigstens bemühen, alle zu Gebote stehenden Verhältnisse zur möglichsten Vergrösserung der Ablenkung zu benutzen.

Die Kleinheit des beschriebenen Messungsapparats hat nun gerade diesen Zweck und soll nicht etwa blos dazu dienen, das Instrument für die Reise leicht und bequem zu machen.

Dass wirklich die Kleinheit des Apparates eine beträchtliche Vergrösserung der Ablenkung gestatte, zeigt schon der Erfolg; denn bei den oben angeführten Versuchen waren alle zu messenden Winkel grösser

als 22°. Man kann aber auch den Grund davon leicht auf folgende Weise darlegen.

1. Es wird keine *absolut* grosse Entfernung des Ablenkungsstabes von der Magnetnadel gefordert, sondern nur eine *relativ* grosse: die Entfernung soll wenigstens 3 bis 4 mal grösser als die Länge des Ablenkungsstabes oder der Magnetnadel sein.

2. Werden *alle* Linear-Dimensionen des Apparates (die Dimensionen der Magnete und ihre Entfernung von einander) proportional verkleinert, so bleiben die Angular-Grössen (zu denen die Ablenkung gehört) unverändert. Man verliert also durch eine solche proportionale Verkleinerung aller Dimensionen des Apparates nichts von der Grösse der zu messenden Ablenkung.

3. Werden aber *nicht alle* Linear-Grössen des Apparates, sondern blos die Länge der Magnete und ihre Entfernung von einander proportional verkleinert, dagegen die Breite und Dicke des Ablenkungsstabes gar nicht oder nur wenig vermindert, so wird die Angular-Grösse der Ablenkung sogar vergrössert und es fragt sich nur, wie weit diese Vergrösserung getrieben werden kann.

Die Grenze dieser Vergrösserung hängt von einem einzigen Umstande ab, nämlich von der Grenze der Breite und Dicke des Ablenkungsstabes bei gegebener Länge. Man nehme an, dass weder Breite noch Dicke des Stabes den achten Theil seiner Länge übersteigen dürfe. Aus dieser durch die Erfahrung gerechtfertigten Annahme ergiebt sich, dass man die grösste Ablenkung durch einen Magnetstab hervorbringen werde, der eben so breit wie dick und 8 mal länger ist und aus einer 3 bis 4 mal grösseren Entfernung, als diese Länge, auf eine höchstens eben so lange Magnetnadel wirkt.

Aus dieser Regel ergeben sich nun alle vortheilhaftesten Dimensionen des beschriebenen kleinen Messungsapparates, sobald man die Grenze der Dicke hinzufügt, welche die *Natur des Stahls* setzt.

Die Dicke des Magnetstabes darf nämlich nicht beträchtlich $12^1/_2$ Millimeter übersteigen, weil der Stahl sonst nicht gehörig durchgehärtet und durchmagnetisirt werden kann. Daraus ergeben sich die grössten vortheilhaften Dimensionen des Ablenkungsstabes, nämlich seine Breite und Dicke zu $12^1/_2$ Millimeter, seine Länge zu 100 Millimeter. Eben so ergiebt sich die grösste vortheilhafte Länge der Magnetnadel auch zu 100 Millimeter und die kleinste brauchbare Entfernung beider von einander zu 300 Millimeter.

Nach diesen Regeln erhält man einen Apparat, wo in mittleren Breiten die kleinsten zu messenden Ablenkungen wie in den oben angeführten Versuchen über 22° betragen. Bei grösseren Entfernungen von den magnetischen Polen der Erde wird diese Ablenkung zwar etwas

kleiner werden, dagegen wird sie bei grösserer Annäherung an die magnetischen Pole viel grösser. Können sodann diese Ablenkungen bis auf den zehnten Theil eines Grades genau gemessen werden, so kann ein bis etwa auf den 200. Theil scharfes Endresultat damit gewonnen werden, weil alle übrigen zur absoluten Intensitätsbestimmung nothwendigen Messungen mit grösserer Schärfe gemacht werden können. Dieses Resultat bleibt nun freilich an Schärfe weit hinter dem zurück, was durch ein Magnetometer erhalten wird; doch können solche Resultate, so lange noch schärfere Bestimmungen mangeln, von grossem Nutzen sein.

*W.*

III.

# Bemerkungen über die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilar-Magnetometers.[1]

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1837, II, S. 20—37.]

---

Nachdem in der vorhergehenden Abhandlung[2]) die Idee des *Bifilar-Magnetometers* und alles zu dessen Ausführung und Anwendung wesentlich Nothwendige auseinander gesetzt worden ist, wird die Ansicht des Instrumentes selbst in einer genauen Abbildung noch von besonderem Interesse sein. Diese Abbildung giebt Taf. IV so vollständig, dass jeder geschickte Mechanikus darnach unmittelbar arbeiten kann. Zum besseren Verständniss dieser Abbildung sowohl, als auch um anderen Beobachtern die Mühe der Aufstellung des Instrumentes durch eine bequeme Anweisung möglichst zu erleichtern, finden folgende Bemerkungen hier noch eine passende Stelle.

## 1. *Allgemeine Bemerkungen.*

Die Höhe und Grösse des Lokals auf hiesiger Sternwarte, wo das hier abgebildete Instrument aufgestellt worden ist, gestattete die Anwendung grosser Dimensionen. Daher wurde hierzu ein 25pfündiger, sehr stark magnetisirter Stab verwendet. Anderwärts wird es vielleicht nöthig werden, diese Dimensionen etwas zu beschränken und es soll zum Schlusse bemerkt werden, welchen Unterschied die Verkleinerung des Instrumentes auch im Kostenbetrage mit sich führe. Jedoch ist im Allgemeinen zu bemerken, dass die grösseren Dimensionen bei dem Bifilar-Magnetometer noch mehr, als beim unifilaren zu empfehlen sind, und zwar 1. weil die Vergrösserung der Dimensionen in den Kosten des Instrumentes keine verhältnissmässige Erhöhung verursacht, — denn die

---

[1]) [Hierzu Tafel IV.]

[2]) [Ueber ein neues, zunächst zur unmittelbaren Beobachtung der Veränderungen in der Intensität des horizontalen Theiles des Erdmagnetismus bestimmtes Instrument. Resultate, 1837, I, p. 1. Gauss' Werke, Bd. V, p. 357.]

Hauptkosten werden durch eine feine Kreistheilung und durch den Spiegel verursacht, und da letzterer nicht am Ende des Magnetstabes befestigt wird, so braucht er mit der Grösse des Stabes nicht zu wachsen — 2. weil die Vergrösserung des Instrumentes keine erhebliche Vergrösserung des Lokales nothwendig macht, — was beim unifilaren Magnetometer wegen der Ablenkungsversuche bei den absoluten Intensitäts-Messungen nothwendig sein würde — 3. weil der Magnetstab aus dem Schiffchen nur selten herausgenommen zu werden braucht, überhaupt weil durch die Grösse des Stabes keine Unbequemlichkeit im Gebrauche verursacht wird, was in gewissem Grade beim anderen Magnetometer der Fall sein würde. Aus allen diesen Gründen sind grosse Stäbe bei dem Bifilar-Magnetometer noch mehr, als beim unifilaren zu empfehlen; aber es folgt daraus nicht, dass man gerade einen 25pfündigen Stab, wie hier zuerst geschehen ist, anwenden müsse; auch ein 10pfündiger wird für die feinsten Messungen ausreichen, und selbst ein 4pfündiger Stab zur Noth genügen. Diese kleineren Stäbe haben blos einen Vorzug vor den grösseren, dass sie nämlich leichter einen starken Magnetismus annehmen, und dieser Vorzug ist nur da von Wichtigkeit, wo starke Streichmittel zum Magnetisiren fehlen.

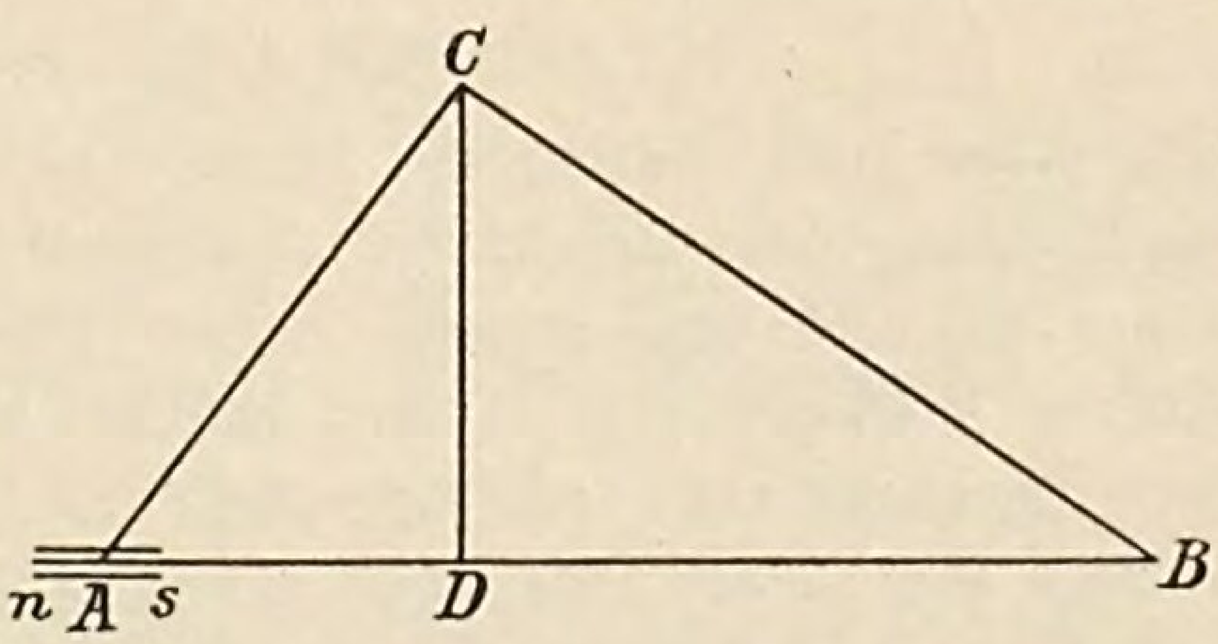
Was das Lokal betrifft, worin das Bifilar-Magnetometer zweckmässig aufgestellt werden kann, so eignet sich dazu ein eben solcher Saal wie für das andere, und dieser Saal genügt auch bei Anwendung eines 25pfündigen Stabes. Er kann sogar weniger breit sein und seine Länge kann mit dem magnetischen Meridian einen beliebigen Winkel machen — weil der Spiegel hier nicht am Ende des Magnetstabes, sondern in der Mitte, am Schiffchen, angebracht ist und nach allen Seiten gewendet werden kann. Nur eines wird erfordert, nämlich eine beträchtliche Höhe, damit die beiden Fäden oder Drähte, woran das Instrument hängt, in einem bequem zu messenden Abstande von einander sein können, ohne dass dadurch die von ihnen ausgeübte Direktionskraft zu gross werde. Da nun ein so hohes Lokal selten ist, so ist es rathsam, die Decke zu durchbohren und die Drähte fortzuführen, so hoch, als es das Dach gestattet. Zu bemerken ist dabei, dass es in Bezug auf diese Höhe wenig Unterschied macht, ob man einen schweren oder leichten Stab ins Schiffchen legt, vorausgesetzt, dass beide Stäbe verhältnissmässig gleich stark magnetisirt und beide viel schwerer als das Schiffchen sind. Endlich braucht kein eigenes eisenfreies Gebäude für das Bifilar-Magnetometer, wie für das andere, aufgeführt zu werden, sondern es kann, wie es hier wirklich der Fall ist, in der Mitte eines Saales auch in einem eisenhaltigen Gebäude stehen, wenn man nur aus seiner Nähe alles Eisen entfernt. Am zweckmässigsten aber würde es seine Stelle im magnetischen Observatorium, wo das andere Magneto-

meter sich befindet, selbst finden, falls dasselbe gross genug und zu diesem Zwecke eingerichtet wäre. Sollen nämlich die Variationen der Deklination und Intensität *zugleich* an den verabredeten Terminen beobachtet werden, so ist dazu die doppelte Anzahl von Beobachtern nöthig, wenn die Apparate an verschiedenen Orten sich befinden. Wenn aber in *einem* grossen Saale beide Apparate stehen und so gestellt sind, dass die Magnetometer selbst zwar von einander recht weit abstehen, die Theodolithen aber, mit denen beobachtet wird, nahe an einander sich befinden; so erspart man nicht allein eine Uhr, da eine und dieselbe Uhr dann vom Beobachter der Intensität sowohl, als auch vom Beobachter der Deklination benutzt werden kann, sondern ein geübter Beobachter kann abwechselnd beide Posten versehen, indem z. B. zwei Minuten nach jeder Deklinationsbeobachtung die Intensität beobachtet wird. Hierbei ist es beachtenswerth, dass die beiden Magnetometer in einem grossen Saale sich auf solche Weise gegen einander stellen lassen, dass die mittlere Deklination ganz unverändert bleibt, und die Variationen der Deklination und der Intensität nur in so weit afficirt werden, dass der Werth der Skalentheile etwas anders bestimmt werden muss, als ausserdem. Dies ist der Fall, wenn der Pfeiler, auf welchem die Theodolithen stehen, mit den beiden Magnetometern ein Dreieck bildet, dessen eine Seite (nämlich die zwischen dem Pfeiler und dem Deklinations-Magnetometer) im magnetischen Meridiane liegt, während die andere Seite, nämlich die gerade Linie, welche die Mittelpunkte beider Magnetometer verbindet, einen Winkel von $35^0\ 15'\ 52''$ mit dem magnetischen Meridian macht[1]).

---

[1]) Herr Hofrath Gauss hat in einer sehr einfachen geometrischen Konstruktion die vollständige Lösung der Frage von der Wechselwirkung zweier Magnete aus grosser Entfernung bei ganz beliebiger gegenseitiger Lage gegeben. Sie ist folgende:

Wenn $A$ die Mitte eines kleinen Magnets $ns$,
$AB$ die Verlängerung von $ns$,
$C$ ein Theilchen freien Magnetismus' des anderen Stabs,
$ACB$ ein rechter Winkel,
$AD = \frac{1}{3} AB$ ist; so ist $CD$ *die Richtung der Kraft*, welche




auf $C$ wirkt, wenn $C$ ein nordmagnetisches Theilchen ist (die Richtung der Kraft ist dagegen die Verlängerung von $DC$ über $C$ hinaus, wenn $C$ ein südmagnetisches Theilchen ist); $\frac{CD}{AD} \cdot \frac{Mm}{AC^3}$ *die Grösse der Kraft*, wenn $M$ den Magnetismus von $ns$, $m$ den Magnetismus in $C$ bezeichnet. — Dieser einfache Satz, der in unzähligen Fällen nützlich wird, findet insbesondere hier seine Anwendung, wo die vortheilhafteste gegenseitige Lage zweier in einem und demselben Saale aufzustellender Magnetometer ermittelt werden soll, d. i. diejenige Lage, wo sie einander am wenigsten

Bei der Höhe der Aufhängung, welche dem Zwecke des Instrumentes gemäss so wichtig ist, wird es von grosser Bedeutung, dass man selten oder gar nicht zu den Aufhängepunkten zu kommen braucht. Schon bei der Konstruktion des unifilaren Magnetometers ist auf die Bequemlichkeit Rücksicht genommen worden, die es hatte, wenn der

---

stören, und die geringe Störung, die sie etwa von einander erleiden, als Korrektion leicht in Rechnung gebracht werden kann. Die Anwendung des Gauss'schen Satzes auf unseren Fall ergiebt, dass in der oben bezeichneten Lage 1. die *mittlere* Deklination unverändert bleibt; 2. der Werth der Skalentheile aber für die *Variationen* der Deklination sowohl, als auch der Intensität nur in so fern geändert werde, als die *Direktionskraft* beider Apparate eine Abänderung erleidet; denn der Werth der Skalentheile ändert sich mit der Direktionskraft und in gleichem Verhältniss. Dieses alles übersieht man aus der geometrischen Konstruktion von der Wechselwirkung zweier Magnete aus grosser Entfernung, ohne dass es nöthig ist, die *Theorie* der beiden Magnetometer darum ausführlich zu entwickeln.

Die *erstere* Behauptung ergiebt sich aus der Betrachtung obiger Figur, wo $A$ der Mittelpunkt des Intensitätsstabs $ns$, $C$ der Mittelpunkt des in der Linie $CD$ liegenden Deklinationsstabs, $CD$ die bei Aufstellung des Apparats zu Grunde gelegte magnetische Meridianlinie ist, und wo die gerade Linie $AC$, welche die Mittelpunkte beider Stäbe verbindet, den Winkel $ACD = 35^0\ 15'\ 52''$ mit dem magnetischen Meridian $CD$ macht, oder genauer einen solchen Winkel $ACD$, dass

$$\sin ACD = \sqrt{\tfrac{1}{3}}$$
$$\cot ACD = \sqrt{2}$$
$$\operatorname{cosec} ACD = \sqrt{3}.$$

Nach dem obigen Satze ist dann nämlich $CD$ die *Richtung* der Kraft, welche auf den Deklinationsstab $C$ wirkt, wenn, für $ACB = 90^0$, $AD = \frac{1}{3} AB$ ist. Dies letztere ist aber wirklich der Fall, weil $CD$ senkrecht auf $AB$ (die magnetische Axe $CD$ des Deklinationsstabs muss im magnetischen Meridiane, die magnetische Axe $AB$ des Intensitätsstabs senkrecht darauf liegen) ist; denn es ist alsdann, für den Halbmesser $AC$, $AD$ der Sinus von $ACD$, $AB$ die Sekante von $BAC$ oder die Kosekante von $ACD$: folglich

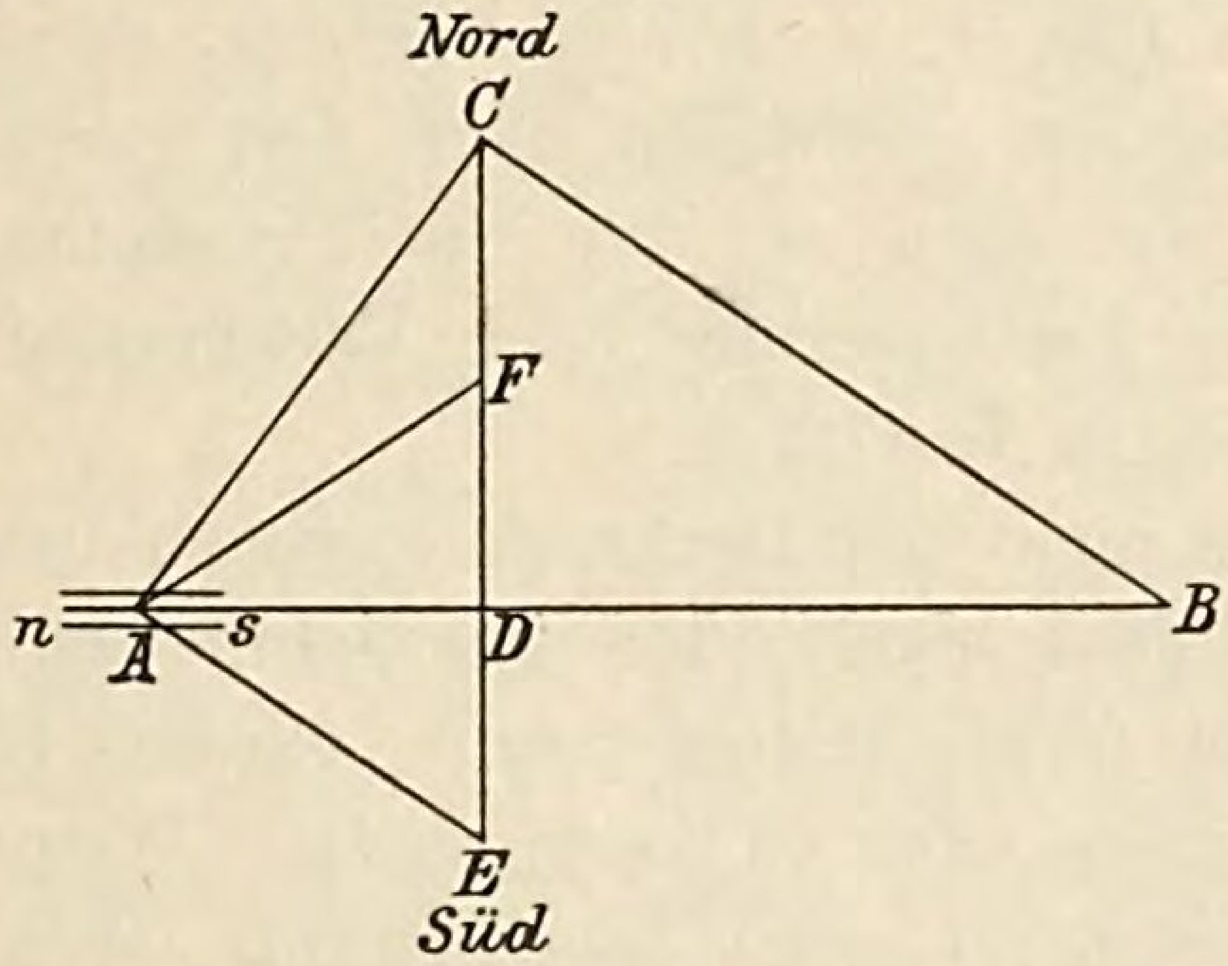
$$AD : AB = \sin ACD : \operatorname{cosec} ACD = \sqrt{\tfrac{1}{3}} : \sqrt{3} = 1 : 3.$$

(Die Kraft, mit welcher der Intensitätsstab auf den Deklinationsstab wirkt, hat also die Richtung des magnetischen Meridians $CD$; kann folglich wohl auf die Schwingungsdauer des Deklinationsstabs, dessen Direktionskraft dadurch etwas geändert wird, einigen Einfluss haben, keinen Einfluss aber auf dessen Richtung, so lange diese mit dem angenommenen *mittleren* Meridian $CD$ zusammenfällt; die *Abweichungen* davon werden aber durch jene Kraft etwas verkleinert oder vergrössert, je nachdem sie mit dem Erdmagnetismus zusammen oder ihm entgegen wirkt. Aber auch dieser Einfluss wird berücksichtigt, wenn man den Bogenwerth der Skalentheile, worin die *Abweichungen vom mittleren Meridian* ausgedrückt werden, der Direktionskraft proportional verändert, d. i. um $\frac{\sqrt{2}}{AC^3} \cdot \frac{Mm}{Tm}$, wo, nach obigem Satze, $\frac{Mm}{AC^3} \cdot \sqrt{2} = \frac{Mm}{AC^3} \cdot \cot ACD = \frac{CD}{AD} \cdot \frac{Mm}{AC^3}$ *die Grösse* der vom Intensitätsstab, $Tm$ der von der Erde herrührenden Direktionskraft bezeichnet).

Torsionskreis, von welchem häufiger Gebrauch gemacht wird, statt an der Decke, an dem Schiffchen des Magnetometers angebracht wurde. Dieselbe Rücksicht ist bei der Konstruktion des Bifilar-Magnetometers

---

Die *letztere* Behauptung, in so fern sie die Variationen der Intensität betrifft, ergiebt sich, wenn auf $CA$ in $A$ ein Perpendikel gefällt wird, welches die verlängerte Linie $CD$ in $E$ schneidet. Alsdann ergiebt sich aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $ACD$, $ABC$, $EAD$, $ECA$, dass $ED = \frac{1}{3}\, EC$ ist; weil $AD = \frac{1}{3} AB$ war: folglich,




wenn $CD$ in $F$ halbirt wird, $CF = \frac{1}{3}\, CE$. Weil nun jetzt von $C$, $CE$, $A$, $CAE$, $CF$, und $AF$ alles gilt, was oben von $A$, $AB$, $C$, $ACB$, $AD$ und $CD$ ausgesagt worden ist; so ergiebt sich $AF$ als *Richtung*, und $\frac{AF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3}$ als *Grösse* der Kraft, mit welcher der Deklinationsstab auf den Intensitätsstab wirkt. Zerlegt man nun diese auf den Intensitätsstab wirkende Kraft in eine Kraft nach seiner magnetischen Axe, durch Multiplikation der ganzen Kraft mit dem Bruche $\frac{AD}{AF}$, und in eine Kraft senkrecht darauf (nach dem magnetischen Meridian), durch Multiplikation der ganzen Kraft mit dem Bruche $\frac{DF}{AF}$; so erhält man für *jene* den Werth:

$$\frac{AD}{AF} \cdot \frac{AF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{AD}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{Mm}{AC^3} \cdot \sqrt{2},$$

für *diese* den Werth:

$$\frac{DF}{AF} \cdot \frac{AF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{DF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{Mm}{AC^3},$$

weil $2CF = CD = AD\sqrt{2}$, oder $\frac{AD}{CF} = \sqrt{2}$ und $CF = DF$ ist. Jene Kraft $\frac{Mm}{AC^3}\sqrt{2}$ verändert direkt die *Direktionskraft* des Intensitätsstabs in seiner transversalen Lage. Diese Kraft $\frac{Mm}{AC^3}$ würde die *Stellung* desselben abändern, wenn nicht durch eine angemessene Abänderung der Suspension diese Wirkung aufgehoben und der Stab unverrückt in seiner transversalen Lage erhalten würde. Im letzteren Falle kommt dann zwar die Kraft $\frac{Mm}{AC^3}$ nicht mehr in Betracht; aber wohl hat die veränderte Suspension Einfluss auf die Direktionskraft und folglich auf den Werth der Skalentheile, der aber keiner besonderen Rechnung bedarf, weil seine Berechnung mit der Berechnung der Direktionskraft überhaupt aus der gegebenen Suspension zusammenfällt, eine Aufgabe, welche in eine vollständige, in der Folge zu entwickelnde, *Theorie des Bifilar-Magnetometers* gehört.

genommen worden, wo sie wegen der nothwendig hohen Aufhängung noch von grösserer Wichtigkeit war. Sollte man aber bei dem Bifilar-Magnetometer gar nicht nöthig haben, zur Decke zu kommen, so mussten noch mehrere andere Einrichtungen am Schiffchen getroffen werden. Es mussten nämlich die Schrauben, welche zur Verlängerung und Verkürzung der Drähte dienen, statt an der Decke, auch am schwebenden Schiffchen angebracht werden. Man erkennt sie in der Abbildung Taf. IV, Fig. 1, 2, 3 sehr deutlich, sieht, wie sie mit dem Kreise, auf welchem das Schiffchen liegt, fest verbunden, und wie sie eingerichtet sind, um eben so, wie die Hebeschraube des einfachen Magnetometers, die Verlängerung oder Verkürzung der Drähte ohne seitliche Verrückung zu bewirken.

Sollte man gar nicht zur Decke zu kommen brauchen, so war endlich noch nöthig, dass man unten am Schiffchen die beiden Drähte einander näher oder ferner stellen konnte, um ihre Direktionskraft nach Belieben zu verkleinern oder zu vergrössern, Wenn es nämlich gleich an sich am einfachsten ist, dass beide Drähte, welche das Instrument tragen, oben und unten gleich weit von einander abstehen, und zur Vergrösserung oder Verkleinerung der Direktionskraft oben und unten immer zugleich und um gleich viel entfernt oder genähert werden; so ist dies doch keineswegs nothwendig, sondern die Näherung oder Entfernung der Drähte kann auch blos unten, nur etwas mehr, geschehen. Der hier abgebildete Apparat ist wirklich so eingerichtet, dass bei einem mittleren Abstande der oberen Enden jede nöthige Vergrösserung oder Verkleinerung der Direktionskraft durch eine am Schiffchen auszuführende Verstellung der Suspensionsschrauben bewerkstelligt werden kann; jedoch ist der Vollständigkeit wegen bei diesem ersten Apparate auch oben die Einrichtung zu einer ähnlichen Verstellung der beiden Cylinder, über welche der Draht weggeleitet und durch welche seine beiden vertikal herabhängenden Enden von einander geschieden erhalten werden, angebracht worden, so dass, wenn man will, der obere Abstand dem unteren immer auch gleich gemacht werden kann. Für den Fall, dass diese obere Verstellung nicht verlangt wird, können die *beiden Cylinder,* über welche der Draht oben weggeleitet wird und durch welche seine beiden herabhängenden Enden geschieden erhalten werden, zu *einer Rolle* von einem angemessenen Durchmesser vereinigt werden, und man kann die Axe dieser Rolle, wie die eines Friktionsrades, auf Rädern laufen lassen, um die Reibung zu vermindern, wodurch man bewirkt, dass die beiden Drähte immer ganz gleiche Spannung haben, was für die absoluten Bestimmungen von grosser Wichtigkeit ist.

## 2. *Ueber einzelne Theile des Bifilar-Magnetometers.*

Die Beschreibung der einzelnen Theile des Bifilar-Magnetometers reducirt sich, wie aus den vorhergehenden allgemeinen Bemerkungen von selbst hervorgeht, fast blos auf die Beschreibung des Schiffchens, weil an diesem sich fast alles befindet, was beim unifilaren Magnetometer am Schiffchen, an der Decke und am Ende des Stabes vertheilt war. Dazu kommt, dass vom Theodolithen und dessen Stative, von der Uhr, von der Skale und von der Mire gar nichts erwähnt zu werden braucht, weil davon ganz dasselbe gilt, was in den „Resultaten“ u. s. w. vom vorigen Jahre S. 14—19[1]) gesagt worden ist. Weil nun aber so vieles am Schiffchen vereinigt worden ist, wird seine Konstruktion etwas schwieriger zu übersehen; daher ist es nöthig gewesen, das Instrument Taf. IV in natürlicher Grösse, wie es für einen 25pfündigen Stab eingerichtet ist, und zwar in drei verschiedenen Lagen abzubilden. Weil auch dies noch nicht zur vollständigen Deutlichkeit ausreichte, sind kleine und zusammengesetzte Theile noch besonders im Querschnitt dargestellt worden, um daran den inneren Mechanismus deutlich zu machen.

Die Einsicht in den Mechanismus dieses an sich sehr einfachen Instrumentes (der nur deswegen eine aufmerksamere Betrachtung erfordert, weil so viele Hauptheile am Schiffchen in so kleinem Raume zusammengedrängt sind) beruht auf der Kenntniss der verschiedenen koncentrischen Drehungen, die am Schiffchen vorgenommen werden können, auf der Kenntniss der Hemmung und Messung dieser Drehungen und auf der Kenntniss des Zweckes, den sie haben. Diese Drehungen sind folgende:

1. die Drehung des Spiegels für sich auf seinem Zapfen, während das ganze übrige Instrument seine Lage behält;
2. die Drehung des Spiegels sammt seinem Zapfen und der Alhidade des letzteren in der Büchse des Kreises, an welchem die Suspensionsschrauben der Drähte fest sind, und auf welchem das Schiffchen mit seiner Alhidade oben aufliegt;
3. die Drehung des Schiffchens mit seiner Alhidade auf dem Kreise, auf dem es aufliegt.

Zur vollständigen Uebersicht aller Drehungen kann endlich hier auch noch

4. die Drehung der beiden oberen Drahtenden um sich selbst, d. i. um die nämliche Axe, um welche die anderen Drehungen geschehen,

angeführt werden.

Die *erste* Drehung, die Drehung des Spiegels für sich auf seinem Zapfen; während das ganze übrige Instrument seine Lage behält, wird

---

[1]) [W. Weber's Werke, Bd. II, p. 2—6.]

aus den Abbildungen Taf. IV Fig. 1 und 3 hinreichend klar. Die Einrichtung dazu ist darum so einfach, weil diese Drehung nicht gemessen zu werden braucht. Sie soll blos dazu dienen, vollkommene Freiheit in der Aufstellung des Theodolithen zu gewähren, indem man durch diese Drehung die Spiegelaxe immer nach dem Fernrohr und der Skale drehen kann, wo diese auch aufgestellt sein mögen, ohne sonst irgend etwas am Apparate zu ändern. Das Bild der Skale, was in dem gedreheten Spiegel erscheint, dient selbst zur Regulirung der Drehung und es bedarf dazu keiner weiteren Messungs-Vorrichtung. Nur zur Feststellung des Spiegels in jeder Lage, oder zur Hemmung seiner Drehung ist eine Schraube nöthig, wie die Abbildungen Fig. 1 und 3 sie zeigen.

Die *zweite* Drehung ist die Drehung des Spiegels sammt seinem Zapfen und der Alhidade des letzteren in der Büchse des Kreises, an welchem die Suspensionsschrauben der Drähte fest sind, und auf welchem das Schiffchen mit seiner Alhidade aufliegt. Um deutlich zu machen, wie jene drei Stücken, nämlich der Spiegel, der Zapfen und dessen Alhidade, wie ein Stück fest verbunden, sich zusammen in der Büchse des Kreises drehen, sind sie sammt der letzteren Fig. 4 im Querschnitt dargestellt worden. Der Spiegel liegt über dem oberen Ende des Zapfens *B*, bei *A*. *C* Alhidade des Zapfens, *D* Kreis. Diese zweite Drehung unterscheidet sich wesentlich von der ersten blos dadurch, dass der Drehungswinkel gemessen werden kann. Indem die unter dem Kreise liegende drehbare Alhidade des Zapfens an ihren beiden Enden den Kreisrand umfasst, bildet sie zwei auf der oberen Seite des Kreises, wo die Theilung ist, aufliegende Nonien, deren innerer Rand an den äusseren Rand der Kreistheilung grenzt. Uebrigens ist zur Hemmung dieser Drehung auch noch eine Klemme angebracht, durch welche die Alhidade des Zapfens fest an den Kreis gedrückt werden kann. Es ist diese Klemme Fig. 4 E besonders im Durchschnitt gezeichnet.

Bei der fast völligen Identität dieser beiden ersten Drehungen wird man fragen: wozu beide? was kann man durch sie erreichen, was nicht schon durch eine erreichbar wäre? Wirklich würde die zweite Drehung allein genügen, wenn ihrem Gebrauche nie ein Hinderniss entgegen träte, vorzüglich in Beziehung auf die Messung. Die Nonien an der Alhidade des Zapfens kommen in gewissen Fällen unter der Alhidade des Schiffchens zu liegen und werden davon verdeckt. Nun ist zwar bei dem Taf. IV abgebildeten Instrumente diese Verdeckung mit besonderer Kunst sehr beschränkt worden, wie man es in Fig. 2 deutlich sieht; um aber auch in den seltenen Fällen, wo auch an diesem Instrumente jene Bedeckung eintritt, helfen zu können, ohne etwa dem Theodolithen deswegen eine andere Stelle anzuweisen, kann man sich dann

beider Drehungen zugleich bedienen, um die Nonien frei zu machen, ohne den Spiegel von der Skale abzuwenden.

Die *dritte* Drehung ist die Drehung des Schiffchens mit seiner Alhidade auf dem Kreise, auf dem es aufliegt. Auf den Kreis, an welchem die Suspensionsschrauben der Drähte fest sind, wirkt unmittelbar die Direktionskraft der Drähte; auf das Schiffchen, in welchem der Magnetstab liegt, wirkt unmittelbar die magnetische Direktionskraft. Wenn daher diese beiden Direktionskräfte einen Winkel mit einander bilden, so werden sie die beiden Theile, auf welche sie unmittelbar wirken, gegenseitig zu drehen suchen. Damit dies nicht geschehe und keine Verstellung der Theile von selbst eintreten könne, müssen die beiden Theile, auf welche jene Kräfte unmittelbar wirken, nur mit so starker Friktion aneinander verschiebbar sein, dass jene Direktionskräfte, auch wenn sie einen grossen Winkel mit einander machen, jene Friktion nicht überwinden können. Aus einem ähnlichen Grunde wurde schon beim unifilaren Magnetometer dafür gesorgt, dass die Alhidade des Schiffchens auf dem Kreise am *äussersten* Rande auflag, damit die durch den Druck der Alhidade auf den Kreis hervorgebrachte Reibung an einem möglichst grossen Hebel wirkte. Dasselbe ist nun auch bei dem Bifilar-Magnetometer geschehen, wo diese Vorsicht noch viel wesentlicher und wichtiger ist, weil die Kräfte viel grösser sind, welche beide Theile zu verrücken streben. Uebrigens muss diese Drehung, von welcher der Winkel abhängt, welchen die beiden Direktionskräfte mit einander bilden, sehr genau gemessen werden können. Die Einfachheit der Konstruktion beruht nun bei dem Bifilar-Magnetometer vorzüglich darauf, dass derselbe Kreis und dieselbe Kreistheilung, welche zur Messung der zweiten Drehung diente, zugleich auch zur Messung der dritten Drehung benutzt wird. Zu diesem Zwecke ist auch die Alhidade des Schiffchens mit zwei Nonien versehen. Unser Instrument besteht hiernach aus einem Kreise mit zwei Alhidaden, die unabhängig von einander gebraucht werden sollen. Damit nun bei diesem unabhängigen Gebrauche die eine Alhidade mit der anderen nicht in Konflikt komme, so liegt die eine unter, die andere über dem Kreise. Weil aber jede Alhidade zwei Nonien hat und alle vier Nonien auf einer Kreistheilung laufen sollen, die auf der oberen Seite des Kreises sich befindet, so umschlingt die untere Alhidade den Rand des Kreises und bildet Nonien, welche an den äusseren Rand der Kreistheilung stossen, wie schon oben angegeben worden ist. Hieraus folgt nun von selbst, dass die Nonien der oberen Alhidade, um mit denen der unteren nicht in Konflikt zu kommen, von innen her an die Kreistheilung stossen müssen. Alsdann können die Nonien der oberen Alhidade an den Nonien der unteren vorübergeführt werden und es kann sogar ein Zwischenraum zwischen

ihnen bleiben, der nur kleiner sein muss, als die Länge der Striche in der Kreistheilung. So ist bewirkt worden, dass dieselbe Kreistheilung doppelt benutzt wird, ohne dass der eine Gebrauch den anderen stört. Nur die zur Kreistheilung gehörende Bezifferung kann nicht beiden Zwecken zugleich dienen, weil sie entweder von den Nonien der einen oder der anderen Alhidade verdeckt werden muss, sie möge ausserhalb oder innerhalb der Kreistheilung stehen. Zur Abhülfe dieses Uebelstandes sind die Zahlen *abwechselnd* innerhalb und ausserhalb gesetzt worden, wie die Abbildung Taf. IV Fig. 2, es zeigt.

Die *vierte* Drehung ist die Drehung der beiden oberen Drahtenden um sich selbst, d. i. um die nämliche Axe, um welche die anderen Drehungen geschehen. Zu dieser Drehung bedarf es gar keiner künstlichen Vorrichtung, sondern man dreht und stellt den Träger an der Decke, über welchen die Drähte geführt sind, aus freier Hand. Da der Träger an der Decke befestigt werden muss, wird man nun zwar für gewöhnlich keinen Gebrauch von dieser Drehung machen; aber man kann im Anfange, bei der ersten Aufstellung des Instrumentes, den Träger so drehen und stellen, dass er die bequemste Lage für alle Zwecke zugleich hat. Als bequemste Lage lässt sich aber diejenige betrachten, bei welcher die unteren Drahtenden mit dem zwischen ihnen stehenden Spiegel am wenigsten in Konflikt kommen. Nur leuchtet ein, dass bei dem verschiedenen Gebrauche, der nach vorhergehender Abhandlung von diesem Instrumente gemacht wird, die unteren Drahtenden, wenn der Träger an der Decke nicht verrückt wird, verschiedene Lagen erhalten, während der Spiegel zwischen ihnen seine Lage fast unverändert beibehält, weil er immer auf die Skale gerichtet bleiben muss. Bald werden nämlich beide Drähte ihrer ganzen Länge nach in einer vertikalen Ebene liegen, bald werden die unteren Drahtenden um sich selbst gedreht, und eine durch sie gelegte Vertikalebene macht einen Winkel mit der früheren, der jedoch immer kleiner als $90^0$ ist. Richtet man es nun so ein, dass im ersteren Falle das Planum der Drähte mit der Vertikalebene der optischen Axe des Fernrohres zusammenfällt; so geht der eine Draht eben so weit vor dem Spiegel, als der andere hinter ihm weg, und beide Drähte stehen möglichst weit vom Spiegel ab. Wird dann das Instrument für den anderen Gebrauch eingerichtet, so nähern sich die Drähte freilich dem Spiegel; jedoch nicht so, dass sie ihn berühren könnten, selbst wenn der Spiegel grösser wäre, als der Zwischenraum, weil die Drehung weniger als $90^0$ beträgt. Dass diese Drehung weniger als $90^0$ betrage, geht daraus hervor, dass die aus der Suspension entspringende Direktionskraft grösser als die magnetische Direktionskraft sein soll[1]). Aus beiden Kräften werden

[1]) [Resultate. 1837. I, p. 8. Gauss' Werke, Bd. V, p. 363.]

daher nur dann sich das Gleichgewicht haltende Drehungsmomente entspringen, wenn die Drähte eine geringere Drehung erleiden, als die magnetische Axe. Da nun die magnetische Axe bei der transversalen Lage gegen die natürliche um 90° gedreht sein soll, so folgt daraus, dass die Drehung der Drähte alsdann weniger als 90° betragen wird, wie oben vorausgesetzt wurde.

### 3. *Ueber den Gebrauch des Bifilar-Magnetometers.*

Schliesslich werde noch die Reihenfolge der Versuche kurz angedeutet, welche zur Aufstellung des Apparates und zur Regulirung desselben gemacht werden müssen.

1. Die Uhr, der Theodolith und die Skale werden fest aufgestellt und ein Senkel von der Mitte des Objektives über die Skale herabgelassen. Der Theodolith wird nivellirt.

2. Das Fernrohr wird auf die gegenüber stehende Wand eingestellt und auf dieser eine Mire zur Bezeichnung des Endpunktes der optischen Axe angebracht. Die Skale wird senkrecht auf die Vertikalebene der optischen Axe gestellt.

3. In der Vertikalebene der optischen Axe wird eine Stelle gesucht, wo der Spiegel zu schweben kommen soll, deren Abstand vom Mittelpunkte des Objektivs und von demjenigen Skalentheile, über welchem das Senkel hängt, zusammen so gross ist, wie der Abstand der Mire vom Mittelpunkte des Objektivs. Die Horizontalebene dieses Punktes soll das Senkel von der Mitte des Objektivs zur Skale halbiren. Endlich wird von der Decke ein Senkel herabgelassen, welches durch diesen Punkt geht.

4. Es wird der Träger entweder an der Decke selbst oder senkrecht über ein glatt ausgefüttertes, durch die Decke gebohrtes, 80 bis 100 Millimeter weites Loch befestigt, so, dass die mit kleinen Gewichten gespannten Enden eines darüber geleiteten Fadens frei durch die Deckenöffnung hindurch gehen und beide in der Vertikalebene der optischen Axe des Fernrohres liegen.

5. Man wählt einen Stahldraht aus, der so stark ist, dass er, ohne Gefahr zu reissen, das halbe Gewicht des Instrumentes tragen kann. Man befestigt sein eines Ende am einen Ende des Fadens, und zieht es zum Träger hinauf, indem man das andere Ende des Fadens herabzieht (wobei zu sorgen ist, dass Draht und Faden immer geradlinig gespannt bleiben), lässt es über die beiden Cylinder des Trägers hinweggehen und führt es wieder herunter, worauf man den Faden abknüpfen und die beiden Drahtenden mit Gewichten belasten und sich frei drehen lassen kann, bis sie ihre natürliche Lage angenommen haben.

6. Die beiden Drahtenden werden etwa 100 oder 150 Millimeter unter der Stelle, wo das Magnetometer schweben soll, abgeschnitten und an die Suspensionsschrauben befestigt. Das so getragene frei schwebende Schiffchen wird darauf mit Hülfe der Schrauben bis zur vorgeschriebenen Stelle in die Höhe gewunden.

7. Es wird ein Kasten, so gross, dass der Magnetstab, der in das Schiffchen gelegt werden soll, darin Platz findet, zum Schutz des Instrumentes, wenn die Drähte rissen, und zur Abhaltung des Luftzuges aufgestellt. Dieser Kasten ist von allen Seiten verschlossen. Seine Decke besteht aus zwei Hälften, die sich dicht zusammen schieben und nur *eine* runde Oeffnung frei lassen, durch deren Mitte der Zapfen geht, dessen oberes Ende den Spiegel trägt, der über dem Kasten schweben muss. Durch die nämliche Oeffnung gehen auch die beiden Drähte, welche den Spiegel zwischen sich haben. Diese kreisförmige Oeffnung wird mit zwei halbkreisförmigen Klappen grossentheils bedeckt, in welchen für Zapfen und Drähte kleinere Ausschnitte sich befinden.

8. Ehe der Magnetstab in das Schiffchen gelegt wird, legt man ein gleich grosses unmagnetisches Gewicht hinein und lässt die Drähte ihre natürliche Lage einnehmen, wobei sie beide ihrer ganzen Länge nach in einer vertikalen Ebene liegen. Die Alhidade des Schiffchens wird darauf so genau wie möglich in denjenigen mittleren magnetischen Meridian gebracht, welchen man den Variationsmessungen zu Grunde legen will. Die andere Alhidade, am Spiegelzapfen, kann so gestellt werden, dass sie mit jener einen rechten Winkel macht, damit die beiderseitigen Nonien recht weit von einander abstehen. Das Gewicht im Schiffchen schiebt man so lange, bis der Spiegel gerade mitten zwischen beiden Drähten steht, wo dann die Spiegelaxe sehr nahe horizontal sein muss. Nun bediene man sich der ersten Drehung, um ohne Verrückung der Alhidade den Spiegel nach der Skale zu wenden. Sollte dann die Skale nicht gleich im Fernrohr erscheinen, so wird man sie mit blossem Auge nahe darüber oder darunter sehen und kann sie mit Hülfe eines leichten Laufgewichtes, das man auf das Schiffchen legt und dort verschiebt, in das Gesichtsfeld führen, wie dies auch bei dem anderen Magnetometer geschieht. Hierauf wird die erste Beobachtung gemacht und der Stand der Skale bestimmt.

9. Auch kann zur Bestimmung der Direktionskraft der Drähte die Schwingungsdauer beobachtet werden, ehe der Magnetstab eingelegt wird, und nochmals, nach einer bekannten Vermehrung des Trägheitsmomentes. Jedoch wird dieser Versuch besser etwas später, wann der Abstand der Drähte von einander genau regulirt worden ist, gemacht, falls man diesen Abstand nicht schon im voraus genau genug durch Rechnung bestimmen und reguliren konnte.

10. Darauf wird der Magnetstab in verkehrter Lage (Nord nach Süd gewandt) eingelegt, und darauf der Stand der Skale wieder beobachtet, welcher mit der Beobachtung unter (8) übereinstimmen soll. Stimmen die beiden Beobachtungen nicht überein, so muss diese Uebereinstimmung durch blosse Drehung des Schiffchens mit seiner Alhidade erreicht werden. Die Uebereinstimmung der beiden Beobachtungen beweist, dass die magnetische Axe des Stabes im magnetischen Meridian liegt. Dabei ist jedoch zu bemerken, dass, je weniger die Direktionskraft vermöge der Aufhängung die magnetische Direktionskraft übertrifft, desto feiner dieses Prüfungsmittel sei, wodurch es unmöglich werden könne, eine *vollkommene* Uebereinstimmung beider Beobachtungen zu erreichen. Der Unterschied weniger Skalentheile kann dann als verschwindend betrachtet werden. Uebrigens bedarf es keiner Erwähnung, dass hierbei auch der Einfluss der stündlichen Variationen berücksichtigt werden muss, indem fortgesetzte Beobachtungen an einem zweiten Apparate derselben Art oder fortgesetzte Beobachtungen der Schwingungsdauer an einem gemeinen Magnetometer angestellt werden.

11. Es wird die Schwingungsdauer $t$ in dieser verkehrten Lage beobachtet.

12. Der Magnetstab wird in die natürliche Lage (Nord gegen Nord) gebracht, indem das Schiffchen mit seiner Alhidade genau um $180^0$ gedreht wird. Darauf wird wieder die Schwingungsdauer $\tau$ beobachtet. Es verhält sich alsdann die magnetische Direktionskraft $M$ zur Direktionskraft vermöge der Aufhängung $S$

$$M : S = t^2 - \tau^2 : t^2 + \tau^2.$$

Wenn dieses Verhältniss von der Einheit sehr abweicht, so müssen die Drähte einander genähert oder entfernt werden, bis die dadurch veränderte Direktionskraft der Drähte die magnetische Direktionskraft nur wenig übertrifft, z. B. um den 10. Theil der letzteren, wie es nach der vorhergehenden Abhandlung[1]) am hiesigen Magnetometer geschehen ist.

13. Sucht man darauf den Winkel $z$, dessen Sinus

$$\sin z = \frac{t^2 - \tau^2}{t^2 + \tau^2}$$

ist, und dreht die Alhidade des Schiffchens (z. B. im Sinne der täglichen Drehung der Sonne) um $90^0 + z$, dreht dagegen die Alhidade des Spiegelzapfens im entgegengesetzten Sinne um den Winkel $z$; so wird das Gleichgewicht gestört sein: die Drähte können nicht mehr in ihrer natürlichen Lage bleiben, sondern müssen den Kreis, an dem sie befestigt sind, und damit das ganze Instrument, in der entgegengesetzten

[1]) [Resultate. 1837. I, p. 8. Gauss' Werke, Bd. V. p. 363.]

Richtung der täglichen Drehung der Sonne genau um den Winkel $z$ drehen. In dieser neuen Lage kann das Gleichgewicht sich wieder herstellen, weil der Stab in dieser Lage, gegen die frühere, einen Winkel $(90^0 + z) - z = 90^0$ macht, während die Drähte an ihren unteren Enden blos um den Winkel $z$ gedreht worden sind. Daraus geht hervor, dass, wenn vorher die Drähte ihre natürliche Lage hatten und die magnetische Axe des Stabes im magnetischen Meridiane lag, die aus den beiden Kräften $M$ und $S$ resultirenden entgegengesetzten Drehungsmomente sich verhalten, wie

$$M \sin 90^0 : S \sin z.$$

Da nun aber

$$M : S = t^2 - \tau^2 : t^2 + \tau^2$$

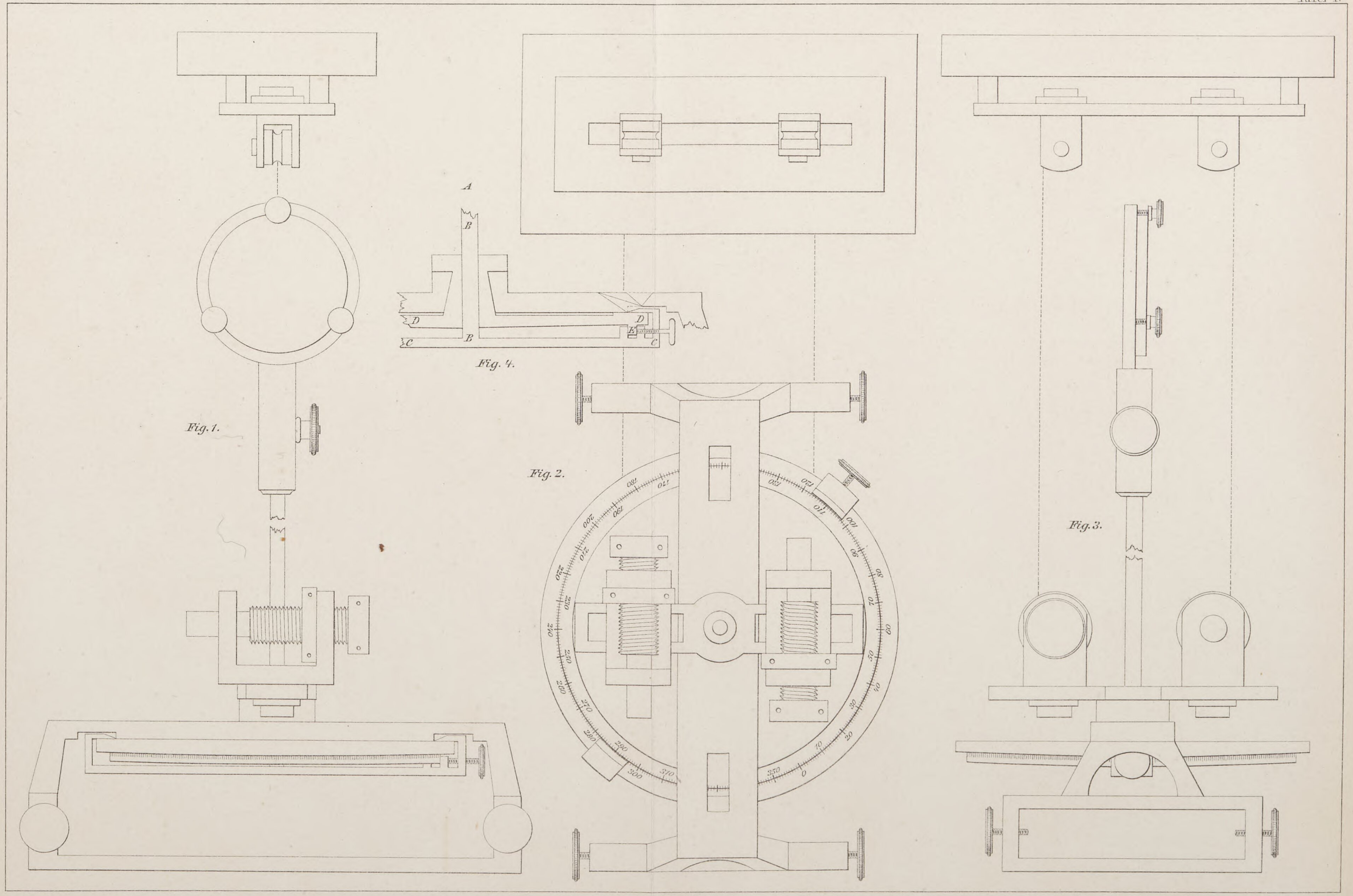
$$\sin z = \frac{t^2 - \tau^2}{t^2 + \tau^2}$$

$$\sin 90^0 = 1;$$

so folgt daraus die Gleichheit dieser entgegengesetzten Drehungsmomente oder das Gleichgewicht des Instrumentes in dieser Lage. Ob die wirkliche Lage des Gleichgewichtes mit der so berechneten übereinstimme oder nicht, ergiebt sogleich die Beobachtung des Skalenstandes, der noch derselbe sein muss wie zuvor. Denn der Spiegel ist zwar mit dem ganzen Apparate um den Winkel $z$ im Sinne der täglichen Drehung der Sonne gedreht worden, jedoch nachdem er selbst vorher für sich um denselben Winkel $z$ im entgegengesetzten Sinne gedreht worden war. Folglich hat er seine frühere Lage behalten und der Stand der Skale ist unverändert geblieben.

14. Ergiebt sich dennoch aus der Beobachtung eine Aenderung des Skalenstandes; so folgt daraus, dass die bei dem früheren Versuche gemachte Voraussetzung nicht genau erfüllt gewesen ist, dass die magnetische Axe des Stabes in dem magnetischen Meridian lag. Den damals begangenen Fehler kann man berechnen und mit Berücksichtigung desselben die Versuche wiederholen. Diese Rechnung wird noch genauer und sicherer, wenn man zuvor einen korrespondirenden Versuch macht, indem man ganz wie unter (13) angegeben ist verfährt, aber alle Drehungen nach der entgegengesetzten Seite macht.

15. Nachdem man die gewünschte Uebereinstimmung erhalten hat, bleibt das Magnetometer in seiner letzten transversalen Lage. Seine Schwingungsdauer ist alsdann nach einem einfachen Theoreme das geometrische Mittel zwischen den Schwingungsdauern $t$ und $\tau$, wornach sich die Beobachtungen der Intensitäts-Variationen, ähnlich, wie die Beobachtungen der Deklinations-Variationen, anordnen lassen. Man erhält die Intensitäts-Variationen in Skalentheilen. Wünscht man sie in




Maasstab: 2/3 der natürlichen Grösse.

Bruchtheile der ganzen Intensität zu verwandeln, so ergeben sich diese, wenn man den Bogenwerth der Skalentheile, in Theilen des Halbmessers ausgedrückt, mit

$$\cot z = \frac{2\,t\,\tau}{t^2 - \tau^2}$$

multiplicirt; denn der Bogenwerth der Skalentheile, in Theilen des Halbmessers ausgedrückt, giebt unmittelbar die Intensitätsvariationen in Theilen der Direktionskraft, welche unter den beschriebenen Verhältnissen $S \cos z$ ist. Dividirt man diese Direktionskraft $S \cos z$ mit der ganzen Intensität, d. i. unter den beschriebenen Verhältnissen mit $S \sin z$: so erhält man, durch Multiplikation jenes Bogenwerthes mit diesem Quotienten $\cot z$, die Intensitätsvariationen in Bruchtheilen der ganzen Intensität.

*Kostenbetrag der Bifilar-Magnetometer von verschiedener Grösse, nach dem Preis-Kourant des Hrn. Mechanikus* MEYERSTEIN *zu Göttingen.*

Das einzige, bis jetzt vorhandene, auf der hiesigen Sternwarte aufgestellte Bifilar-Magnetometer ist von der geschickten Hand des Hrn. Mechanikus MEYERSTEIN ausgeführt worden. Es wird von Interesse sein, den Preis dieses Instrumentes und ähnlicher an Grösse verschiedener hier zu erfahren.

1. Ein Bifilar-Magnetometer mit 25 pfündigem Magnetstabe kostet . . . . . . . . . . . . . . . . 60 Rthlr.
2. Ein Bifilar-Magnetometer mit 10 pfündigem Magnetstabe kostet . . . . . . . . . . . . . . . . 51 „
3. Ein Bifilar-Magnetometer mit 4 pfündigem Magnetstabe kostet . . . . . . . . . . . . . . . . 45 „

Zur Berücksichtigung der stündlichen Variationen bei manchen mit dem Bifilar-Magnetometer anzustellenden Messungen könnte es wünschenswerth erscheinen einen Hülfsapparat ähnlicher Art zu besitzen, der jedoch einfacher zu konstruiren wäre, weil er nicht zu absoluten Messungen dienen soll. Es kann z. B. dabei die oben (S. 50) beschriebene zweite Drehung, ferner die Suspensionsschrauben und die Schiebungen zur Regulirung der Drähte weggelassen und blos eine Kreistheilung in ganze Grade angewendet werden. Da es sehr wünschenswerth ist, dass recht bald die Intensitätsvariationen an mehreren anderen Orten zu den verabredeten Terminen beobachtet werden; so wird bemerkt, dass ein solcher Hülfsapparat auch zu diesem Zwecke einstweilen genügen kann.

4. Ein so vereinfachtes Bifilar-Magnetometer mit 10 pfündigem Stabe kostet . . . . . . . . . . . . . 30 Rthlr.

*W.*

IV.

# Ueber den Einfluss der Temperatur auf den Stabmagnetismus[1]).

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1837, III, S. 38—57.]

---

Unter die Korrektionen, welche bei mehreren magnetischen Beobachtungen angebracht werden müssen, wenn sie auf Feinheit und Genauigkeit Anspruch machen sollen, gehört die Korrektion des Nadel- oder Stabmagnetismus wegen der Temperatur der Nadel oder des Stabes. Man hat beobachtet, dass, wenn ihre Temperatur steigt, ihr Magnetismus abnimmt; wenn ihre Temperatur sinkt, ihr Magnetismus zunimmt. Man glaubte hiernach, den Nadel- oder Stabmagnetismus als eine Funktion der Temperatur der Nadel und des Stabes betrachten zu dürfen, so, dass ihnen für jede bestimmte Temperatur ein bestimmter Magnetismus zukäme, und dass man, statt den Stabmagnetismus immer wieder zu messen, nur die Temperatur des Stabes zu wissen brauche, um darnach den Stabmagnetismus zu berechnen.

Zwar hat man schon bemerkt, dass dieses Verhältniss zwischen Stabmagnetismus und Stabtemperatur nicht immer so bleibe, und dass es darum nöthig sei, nach längerer Zeit wenigstens, den Stabmagnetismus von neuem zu messen, weil sich finde, dass alsdann derselbe Stab bei derselben Temperatur nicht mehr ganz so viel Magnetismus, wie früher, besitze; einer genaueren Prüfung hat man aber den Gegenstand bisher noch nicht unterworfen, theils, weil es dazu an geeigneten Mitteln fehlte, theils, weil selten die Fälle vorkamen, wo eine genaue Korrektion des Nadelmagnetismus wegen der Nadeltemperatur Bedürfniss war. Denn die Bestimmung der *Richtung* der erdmagnetischen Kraft konnte z. B. unabhängig von dieser Veränderlichkeit des Nadelmagnetismus

---

[1]) [Hierzu Tafel V, Fig. 1.]

ausgeführt werden, und eben so beweist die Abhandlung des Herrn Hofrath Gauss: „Intensitas“ etc., wie auch die Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maasse gemessen werden kann, ohne die Temperatur der angewandten Magnetnadeln zu wissen. Es sind daher nur wenige Fälle, wo man jene Korrektion nöthig hat, z. B., wenn man den Stabmagnetismus selbst untersucht, oder, wenn man den Erdmagnetismus an verschiedenen Orten oder zu verschiedenen Zeiten vergleichen will, ohne absolute Messungen vollständig auszuführen.

Insbesondere gehören hierher die Beobachtungen der stündlichen Variationen der Intensität des Erdmagnetismus, die sich mit dem neuen, vom Herrn Hofrath Gauss angegebenen Instrumente, dem *Bifilar-Magnetometer*, eben so vollständig und genau beobachten und verfolgen lassen, als mit dem *Unifilar-Magnetometer* bisher die Variationen der Deklination. Der Gebrauch dieses neuen Instrumentes erweckt daher den Wunsch, dass der Einfluss der Temperatur auf den Stabmagnetismus etwas genauer untersucht werde, wenigstens in so weit, um beurtheilen zu können, ob und welche Rücksicht auf die Temperatur bei den Beobachtungen mit jenem Instrumente zu nehmen sei. Auch lässt sich eine solche Untersuchung mit den Messungs-Hülfsmitteln, welche das Magnetometer darbietet, befriedigender ausführen, als es früher möglich war.

Alles, was man über diesen Gegenstand weiss, beruht auf Beobachtungen, die auf folgende Weise gemacht worden sind. Man liess kleine Nadeln schwingen und beobachtete ihre Schwingungsdauer, und wiederholte diese Versuche bei verschiedenen Temperaturen, die man während jeder Versuchsreihe möglichst unverändert zu erhalten suchte. Vorausgesetzt, dass der Erdmagnetismus sich in der Zwischenzeit nicht änderte, so ersieht man leicht, wie man (mit Berücksichtigung des Einflusses, den die Ausdehnung der Nadel durch die Temperatur auf das Trägheitsmoment der Nadel hat) aus der beobachteten Veränderlichkeit der Schwingungsdauer auf die Veränderlichkeit des Stabmagnetismus schliessen kann. In der That aber sind diese Versuche nicht geeignet, um die Abhängigkeit des Stabmagnetismus von der Temperatur dadurch kennen zu lernen: 1. weil sie zu solchem Zwecke nicht *fein* genug sind; 2. weil sie Resultate, die nicht für bestimmte Zeitmomente gelten, sondern nur solche, die als Mittelwerthe für längere Zeiträume zu betrachten sind, geben.

Was zuerst den Mangel an *Feinheit* dieser Schwingungsversuche zur Ermittelung des Temperatureinflusses auf den Stabmagnetismus betrifft, so übersieht man, dass bei der kurzen Schwingungsdauer kleiner Nadeln, ferner bei der geringen Zahl von Schwingungen, welche bei der schnellen Abnahme der Schwingungsbögen beobachtet werden kann, und

endlich bei der nicht mit aller Schärfe auszuführenden Reduktion auf unendlich kleine Bögen, nicht leicht mehr, als der 600. Theil der Schwingungsdauer, d. i. der 300. Theil des ganzen Nadelmagnetismus, auch wenn die Versuche mit der grössten Sorgfalt gemacht werden, verbürgt werden kann. Wenn nun die Temperatur der Nadel selbst beträchtlich sinkt, z. B. um $10^0$, ihr Magnetismus aber für jeden Grad etwa blos um den 3000. Theil wächst (wie das wirklich bei vielen Nadeln der Fall ist); so kann man auf jene Weise kaum mit Sicherheit *erkennen,* ob überhaupt die Temperatur Einfluss auf den Stab-Magnetismus habe, geschweige, wie gross und welchen Gesetzen er unterworfen sei. Selbst bei grösseren Temperaturänderungen kann kaum von einer wirklichen *Messung* des Einflusses die Rede sein. Diese Versuche haben also nicht die nöthige *Feinheit,* um den Temperatur-Einfluss auf den Stabmagnetismus dadurch kennen zu lernen.

Ausserdem ist es ein Mangel dieser Versuche, dass die aus ihnen gezogenen Resultate keine Gültigkeit für *einzelne bestimmte Zeitmomente* haben, sondern als Mittelwerthe für längere Zeiträume zu betrachten sind. Wollte man daher auch jene kleinen Nadeln mit grossen vertauschen, wollte man z. B. die Schwingungen eines Magnetometers beobachten, wo, was die *Feinheit* der Zeitmessung betrifft, gar nichts zu wünschen bleibt; so würden, abgesehen von der Schwierigkeit, die Temperatur des schwingenden Stabes genau zu ermitteln und beliebig zu verändern, die zusammen gehörigen Temperatur- und Intensitäts-Variationen nicht *schrittweise* und genau verfolgt werden können, sondern man könnte auch auf diese Weise zu gültigen Resultaten blos dann gelangen, wenn die beiden zu messenden Grössen, die Temperatur und die magnetische Intensität des Stabes, auf längere Zeit *stationär* geworden wären, weil nur alsdann die für längere Zeiträume gültigen Mittel-Resultate auch für jeden Zeitmoment Bedeutung haben. Weil nun ein solcher *stationärer Zustand* nicht eintritt, oder, wann er eintritt, unbekannt ist, so sind alle *Schwingungsversuche,* auch wenn sie mit grösster *Feinheit* ausgeführt werden, zur Ermittelung des Temperatur-Einflusses auf den Stabmagnetismus nicht geeignet, weil sie zu keinen für einzelne bestimmte *Zeitmomente* geltenden Resultaten führen.

Ausser den *Schwingungsversuchen* gestattet aber das Magnetometer, zu gleichem Zwecke, auch *Ablenkungsversuche* zu machen, und diese letzteren unterscheiden sich gerade darin von jenen ersteren, dass sie blos für den *Augenblick* der Beobachtung gelten, und sind daher die einzigen, welche zu dem vorgesetzten Zwecke ihrer Natur nach brauchbar sind. Auch was die *Feinheit* betrifft, übertreffen sie alle früheren Versuche, wie sich aus ihrer näheren Betrachtung ergiebt. Man nähert

dem Magnetometer den zu untersuchenden Magnetstab in solcher Lage und so weit, dass die Ablenkung des Magnetometers möglichst gross ist, aber noch gemessen werden kann, dass sie z. B. 600 Skalentheile beträgt. Sinkt dann die Temperatur dieses Ablenkungsstabes, z. B. um $10^0$, und wächst mit jedem Grade, um welchen die Temperatur sinkt, sein Magnetismus um den 3000. Theil; so wird die Ablenkung nicht mehr, wie bisher, 600, sondern 602 Skalentheile betragen, von welchem Unterschiede wohl noch der 20. Theil, wie die Erfahrung beweist, mit Sicherheit ermittelt werden kann. Und dieses weit *schärfere* Resultat gilt nun gerade für den *Zeitmoment*, in welchem die Ablenkung gemessen wird. Der Vorzug solcher am Magnetometer ausgeführten *Ablenkungsversuche* vor den früheren *Schwingungsversuchen* kann also bei vorliegendem Zwecke *erstens*, wegen der weit grösseren Feinheit, *zweitens* wegen der Gültigkeit für einzelne Zeitmomente nicht bezweifelt werden. Es kommt aber noch *drittens* ein Vorzug der Ablenkungsversuche vor den Schwingungsversuchen hinzu, der, praktisch genommen, vielleicht der wichtigste ist, nämlich, dass die Nadel selbst, welche beobachtet wird, weder erwärmt noch erkaltet zu werden braucht, und dass überhaupt ihre Temperatur zu kennen nicht nöthig ist, wenn sie nur möglichst gleich erhalten wird, — dass vielmehr *alle Temperatur-Aenderungen und Messungen* sich auf den Ablenkungsstab beschränken lassen, der, weil er selbst nicht beobachtet wird, in einer mit Schnee oder Wasser gefüllten Wanne liegen kann, wo er für alle Temperaturänderungen und Temperaturmessungen unter den *allergünstigsten* Verhältnissen sich befindet.

Wenn nun nicht zu zweifeln ist, dass die Ablenkungsversuche mit dem Magnetometer ein viel vollkommneres *Hülfsmittel* zur Erforschung des Temperatur-Einflusses auf den Stabmagnetismus, als die Schwingungsversuche, darbieten, so darf man hoffen, dadurch auch zu viel schärferen und brauchbareren *Resultaten* zu gelangen, vorausgesetzt, dass der zu erforschende Einfluss in den Erscheinungen immer unvermischt und rein hervortrete, und seiner Natur nach einfacher gesetzlicher Bestimmungen fähig sei; dass es also blos feiner Messungen bedarf, um Gesetze zu finden. Was aber oft geschieht, wenn man gröbere Mittel mit feineren vertauscht, ist bei Anwendung dieser feineren, vom Magnetometer dargebotenen Mittel zur Erforschung des Einflusses der Temperatur auf den Stabmagnetismus, eingetreten. Bei genauerer Prüfung hat sich ergeben, dass die Erscheinungen viel mannigfaltiger sind, als man sie sich nach den unvollkommenen Versuchen, die man besass, früher vorgestellt hatte. Es haben sich folgende merkwürdige Verhältnisse aus den neuen Versuchen ergeben:

1. die Variationen des Stabmagnetismus bei steigender Temperatur sind einem ganz anderen Gesetze als die bei sinkender Temperatur unterworfen;
2. derselbe Magnetstab verhält sich sehr verschieden, je nach der Intensität seines Magnetismus, nämlich: wenn er viel Magnetismus besitzt, so hält er ihn sehr fest, und der Wechsel der Temperatur bringt nur kleine Vermehrungen oder Verminderungen hervor; dagegen wenn er wenig Magnetismus hat, wirkt die Temperatur weit stärker auf ihn;
3. die zusammengehörigen Temperatur- und Intensitätsänderungen treten bei steigender Temperatur nicht gleichzeitig ein, sondern jede Temperaturerhöhung, nachdem sie schon eingetreten ist, wirkt längere Zeit noch auf die Intensität des Stabes fort und vermindert sie anfangs schnell, mit der Zeit aber immer langsamer.

Diese in der Natur begründete Komplikation der Erscheinungen macht, dass es nicht ausreicht, abwechselnd bei hohen und niederen Temperaturen den Stabmagnetismus zu messen, sondern man muss die Uebergänge von der niederen zur höheren, oder von der höheren zur niederen Temperatur beobachten und eine fortlaufende vollständige Uebersicht über die Geschwindigkeiten der gleichzeitigen Temperatur- und Intensitätsänderungen zu erlangen suchen.

Bei Verfolgung der Erscheinung so ins Einzelne und Feine ergab sich nun, dass selbst die beschriebenen, vom Magnetometer dargebotenen genaueren Mittel nicht ausreichten; aber es war möglich durch eine geringe Modifikation des Verfahrens auch diesem Zwecke zu genügen. Man braucht nämlich nur zwei Ablenkungsstäbe gleichzeitig von entgegengesetzten Seiten (z. B. den einen von Osten, den anderen von Westen) auf das Magnetometer wirken zu lassen, und zwar beide so zu nähern, dass jeder für sich eine etwa zehn Mal grössere ablenkende Kraft auf das Magnetometer ausübt, als diejenige ist, welche noch mit der Skale des Magnetometers gemessen werden kann. Man lässt aber den einen Stab dem anderen entgegen wirken, so, dass durch beide zusammen die Stellung des Magnetometers *gar nicht* verändert wird. Lässt man dann die Temperatur des einen Ablenkungsstabes unverändert und erniedrigt die Temperatur des anderen Stabes nur um 1°, wodurch seine Intensität um den 3000. Theil wüchse, so würde dieser Stab für sich allein statt der früheren Ablenkung von etwa 6000 Skalentheilen eine Ablenkung von 6002 Skalentheilen hervorbringen: folglich beide Stäbe zusammen das Magnetometer nicht mehr in seiner wahren Lage lassen, sondern um zwei Skalentheile davon entfernen, d. i. gerade um so viel, wie früher bei einer zehn Mal grösseren Temperaturerniedrigung, — kurz, die Variationen des Stabmagnetismus können auf diese Weise zehn

Mal feiner gemessen werden, als bei Anwendung eines einzigen Ablenkungsstabes.

Ein wesentlicher Vortheil dieser Methode besteht noch darin, dass die Intensitäts-Variationen des Erdmagnetismus keinen Einfluss haben; denn wenn durch diesen gleichzeitigen Gebrauch zweier Ablenkungsstäbe das Magnetometer in der That gar nicht oder sehr wenig vom magnetischen Meridian abgelenkt wird; so leuchtet von selber ein, dass es auf seine Stellung keinen Einfluss haben werde, wenn der Erdmagnetismus während der Versuche etwas wächst oder abnimmt.

Nach diesen Vorbemerkungen möge nun die Beschreibung und Zusammenstellung der Versuche, die nach den beiden zuletzt beschriebenen Methoden, mit dem Magnetometer, über den Einfluss der Temperatur auf den Stabmagnetismus bisher gemacht worden sind, folgen.

*Beschreibung der Versuche.*

Ein 1443 Gramm schwerer, 608 Millimeter langer Magnetstab, demjenigen ähnlich, welcher im Magnetometer des hiesigen magnetischen Observatoriums gebraucht wird, wurde zum Ablenkungsstab gewählt. Er wurde in eine kupferne Wanne gelegt und befestigt, die in verschiedenen Lagen und Entfernungen vom Magnetometer aufgestellt werden konnte. Sie wurde im magnetischen Meridian des Magnetometers, zuerst nördlich, dann südlich, in zwei Punkten, die 4200 Millimeter von einander abstanden, so aufgestellt, dass, während der darin liegende Magnetstab horizontal und senkrecht auf den magnetischen Meridian lag, das Magnetometer beidemal gleiche Ablenkung erlitt. In der ersteren Lage wurden darauf folgende Versuche angestellt. Während die Temperatur des Stabes in der Wanne nahe unverändert blieb, wurde der Stand des 2100 Millimeter südlich davon stehenden Magnetometers drei Mal beobachtet: das erste Mal, als der Nordpol des Ablenkungsstabes nach Westen, das zweite Mal, als er nach Osten, das dritte Mal, als er wieder nach Westen gekehrt war. Gleichzeitig mit diesen drei im magnetischen Observatorium gemachten Beobachtungen wurde der Stand des in der Sternwarte aufgestellten Magnetometers beobachtet, um dadurch jene drei Beobachtungen unter einander vergleichbar zu machen. Nach diesen Beobachtungen wurde die Temperatur des Magnetstabes in der Wanne durch Zugiessen von heissem und Ablaufen von kaltem Wasser verändert und dieselben Beobachtungen darauf mehrmals wiederholt. Folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Beobachtungen.

1837. April 11.—18.

Beobachter: Herr Professor Ulrich, Dr. Goldschmidt, Wilhelm Weber.

| No. | Magnetometer | | Temperatur des Ablenkungsstabes. | Korrigirte Magnetometer-Stände. | Mittlere Intensität d. Ablenkungsstabes. | Mittlere Temperatur des Ablenkungsstabes. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | M. O. | Sternw. | | | | |
| | 1204,93 | 35,85 | 0° | 1169,08 | | |
| I. | 538,68 | 34,08 | 0° | 504,60 | 332,15 | 0° |
| | 1201,77 | 33,03 | 0° | 1168,74 | | |
| | 1174,79 | 34,46 | 46° 9 | 1140,33 | | |
| II. | 558,36 | 27,35 | 43° 2 | 531,01 | 304,97 | 43°22 |
| | 1165,00 | 23,41 | 39° 6 | 1141,59 | | |
| | 1167,35 | 23,51 | 32° 2 | 1143,84 | | |
| III. | 549,31 | 22,73 | 30° 3 | 526,58 | 308,83 | 30°32 |
| | 1167,21 | 22,56 | 28° 5 | 1144,65 | | |
| | 1171,62 | 21,03 | 0° | 1150,59 | | |
| IV. | 536,79 | 19,43 | 0° | 517,36 | 316,59 | 0° |
| | 1168,19 | 17,69 | 0° | 1150,50 | | |
| | 1280,78 | 31,13 | 0° | 1249,65 | | |
| V. | 460,66 | 30,67 | 0° | 429,99 | 409,11 | 0° |
| | 1277,83 | 31,07 | 0° | 1246,76 | | |
| | 1248,81 | 26,88 | 31° 5 | 1221,93 | | |
| VI. | 482,38 | 20,61 | 31° 6 | 461,77 | 381,71 | 31°17 |
| | 1248,62 | 20,28 | 30° 0 | 1228,34 | | |
| | 1253,25 | 26,94 | 0° | 1226,31 | | |
| VII. | 479,80 | 27,91 | 0° | 451,89 | 387,25 | 0° |
| | 1254,39 | 27,91 | 0° | 1226,48 | | |
| | 1239,88 | 30,83 | 18° 5 | 1209,05 | | |
| VIII. | 496,47 | 31,81 | 18° 0 | 464,66 | 372,38 | 17°92 |
| | 1241,87 | 32,08 | 17° 2 | 1209,79 | | |
| | 1245,42 | 28,62 | 0° | 1216,80 | | |
| IX. | 497,91 | 33,22 | 0° | 464,69 | 376,20 | 0° |
| | 1252,90 | 35,50 | 0° | 1217,40 | | |
| | 1255,42 | 38,51 | 0° | 1216,91 | | |
| X. | 499,25 | 36,41 | 0° | 462,84 | 376,93 | 0° |
| | 1253,18 | 36,69 | 0° | 1216,49 | | |
| | 1211,05 | 4,89 | 28° 2 | 1206,16 | | |
| XI. | 476,86 | 6,98 | 19° 5 | 469,88 | 368,30 | 19°52 |
| | 1217,06 | 10,25 | 18° 9 | 1206,81 | | |
| | 1227,17 | 17,43 | 0° | 1209,74 | | |
| XII. | 484,85 | 18,43 | 0° | 466,42 | 371,84 | 0° |
| | 1227,98 | 17,51 | 0° | 1210,47 | | |
| | 1173,81 | 23,98 | 58° 1 | 1149,83 | | |
| XIII. | 549,57 | 24,38 | 57° 9 | 525,19 | 312,15 | 58°12 |
| | 1174,18 | 25,01 | 58° 6 | 1149,17 | | |
| | 1183,71 | 26,13 | 33° 6 | 1157,58 | | |
| XIV. | 543,61 | 26,28 | 32° 0 | 517,33 | 320,10 | 32°60 |
| | 1184,10 | 26,62 | 32° 8 | 1157,48 | | |

| No. | Magnetometer M. O. | Magnetometer Sternw. | Temperatur des Ablenkungsstabes. | Korrigirte Magnetometer-Stände. | Mittlere Intensität d. Ablenkungsstabes. | Mittlere Temperatur des Ablenkungsstabes. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| XV. | 1195,08 | 31,10 | 0° | 1163,98 | 327,26 | 0° |
| | 541,08 | 31,14 | 0° | 509,94 | | |
| | 1196,31 | 31,37 | 0° | 1164,94 | | |
| XVI. | 314,88 | 32,14 | 0° | 282,74 | 544,02 | 0° |
| | 1404,92 | 33,68 | 0° | 1371,24 | | |
| | 317,02 | 33,38 | 0° | 283,64 | | |
| XVII. | 375,47 | 39,85 | 67° 7 | 335,62 | 493,45 | 61° 02 |
| | 1360,94 | 39,92 | 62° 8 | 1321,02 | | |
| | 373,76 | 39,57 | 58° 7 | 334,19 | | |
| | 1362,53 | 39,93 | 54° 9 | 1322,60 | | |
| XVIII. | 1370,03 | 43,63 | 31° 3 | 1326,40 | 497,94 | 29° 80 |
| | 375,38 | 44,63 | 30° 3 | 330,75 | | |
| | 1370,14 | 43,32 | 29° 3 | 1326,82 | | |
| | 375,37 | 44,66 | 28° 3 | 330,71 | | |
| XIX. | 375,38 | 47,62 | 0° | 327,76 | 500,99 | 0° |
| | 1376,71 | 47,10 | 0° | 1329,61 | | |
| | 376,21 | 48,55 | 0° | 327,66 | | |
| | 1377,94 | 48,17 | 0° | 1329,77 | | |
| XX. | 1152,79 | 27,26 | 64° 72 | 1125,53 | 303,55 | 58° 75 |
| | 549,69 | 31,02 | 58° 45 | 518,67 | | |
| | 1160,58 | 33,66 | 56° 19 | 1126,92 | | |
| | 556,84 | 37,27 | 55° 65 | 519,57 | | |
| XXI. | 553,93 | 38,26 | 30° 8 | 515,67 | 308,64 | 30° 30 |
| | 1169,16 | 36,22 | 29° 3 | 1132,94 | | |
| | 553,03 | 37,48 | 31° 3 | 515,55 | | |
| | 1172,23 | 39,38 | 29° 8 | 1132,85 | | |
| XXII. | 559,56 | 47,81 | 0° | 511,75 | 313,63 | 0° |
| | 1189,42 | 50,77 | 0° | 1138,65 | | |
| | 565,30 | 53,94 | 0° | 511,36 | | |
| | 1197,26 | 58,27 | 0° | 1138,99 | | |

## *Erläuterungen.*

Der Werth der Skalentheile der beiden Magnetometer, an welchen die vorhergehenden Versuche gemacht wurden, war nahe gleich, so, dass die in der Sternwarte beobachteten Stände von den im magnetischen Observatorium beobachteten nur abgezogen zu werden brauchten, um den Einfluss der während der Beobachtungen eingetretenen Deklinations-Variationen auszuschliessen, wie dies in der fünften Kolumne der obigen Tabelle geschehen ist. Die in der vierten und siebenten Kolumne angegebenen Temperaturen sind nach der 100theiligen Skale.

Die Intensitäten in der sechsten Kolumne sind aus den drei Angaben der fünften Kolumne berechnet: sie sind nämlich Viertel von der Summe der beiden Unterschiede der zweiten Angabe von der ersten und dritten. Der Maasstab dieser Intensitäten ist nicht ganz unveränderlich, sondern hängt von dem Erdmagnetismus ab, mit dem er wächst und abnimmt. Darum darf man nur diejenigen Resultate unter einander vergleichen, welche schnell hinter einander gewonnen worden sind, z. B. die vier ersten Resultate. Das vierte Resultat ist bei der nämlichen Temperatur (0°) wie

das erste gewonnen worden, und sollte, vorausgesetzt der Stabmagnetismus bliebe immer die nämliche Funktion der Temperatur, damit ganz übereinstimmen, oder nur, in so fern der Erdmagnetismus in der Zwischenzeit zugenommen oder abgenommen hat, eine kleine Verschiedenheit zeigen. Statt dessen zeigt sich ein Unterschied, der so gross ist, dass er unmöglich einer Variation der Intensität des Erdmagnetismus zugeschrieben werden kann. Daher beweisen schon diese ersten Versuche, dass der Stabmagnetismus nicht immer die nämliche Funktion der Temperatur bleibe, sondern, dass ein Theil davon bei wiederkehrender Temperatur nicht wiederkehre, sondern ganz verloren sei, zumal wenn der Stab in der Zwischenzeit beträchtlich erwärmt worden ist. Bei sehr langsamer oder geringer Erwärmung scheint ein solcher Verlust auch einzutreten, aber viel kleiner zu sein, wie die Magnetstäbe im Magnetometer beweisen, welche oft in Jahresfrist sehr wenig von ihrem Magnetismus verlieren, ungeachtet sie abwechselnd Sommerhitze und Winterkälte ertragen.

Bei dem *ersten* Versuche war die Wanne, in welcher der Ablenkungsstab lag, mit Schnee gefüllt. Vor dem *zweiten* Versuche wurde der Schnee grossentheils aus der Wanne herausgenommen und statt dessen Wasser hineingegossen, in welchem der Rest des Schnees schmolz, und durch Zugiessen von wärmerem Wasser, während das kältere durch eine Oeffnung im Boden der Wanne ablief, wurde die Temperatur nahe auf 50$^0$ gesteigert. Die Zwischenzeit zwischen dem ersten und zweiten Versuche war 18 Minuten. Der *dritte* Versuch wurde 18 Minuten nach dem zweiten angestellt, als die Temperatur in der Wanne von selbst auf etwa 33$^0$ herabgesunken war. Der *vierte* Versuch endlich wurde wieder 18 Minuten nach dem dritten, bei der nämlichen Temperatur in der Wanne, wie der erste Versuch, gemacht, nachdem das warme Wasser durch Vermischung mit Schnee allmählig erkaltet, aus der Wanne abgelaufen und durch Schnee in der Wanne ersetzt worden war. Der Stab hatte durch die beträchtliche Erwärmung fast $^1/_{20}$ seines Magnetismus verloren. Bei allen diesen Versuchen war das Magnetometer von einem *Dämpfer*[1]) umgeben, welcher die grossen Bewegungen, in welche das Magnetometer gerieth, wenn die Wanne mit dem Magnetstabe umgesetzt wurde, schnell beruhigte.

Auf dieselbe Weise, wie die vier ersten Versuche, wurden auch der *fünfte, sechste, siebente, achte* und *neunte* Versuch in kurzen Zwischenzeiten nach einander gemacht, nachdem der Stab neu magnetisirt worden war. Auch bei diesen Versuchen ergab sich, dass der Stab bei Wiederkehr derselben Temperatur nicht dieselbe Intensität wieder annahm. Der Stab verlor nach zweimaliger schneller Erwärmung von 0—32$^0$ und von 0—19$^0$ etwa $^1/_{12}$ seines Magnetismus.

Der *zehnte* Versuch wurde 16 Stunden nach dem neunten angestellt, nachdem der Stab während dieser ganzen Zeit im Schnee gelegen hatte, um die Einwendung zu beseitigen, dass der Stab nicht lange genug im Schnee oder Wasser gelegen, um ihre Temperatur anzunehmen. Wirklich ergab sich darnach die Intensität des Stabes um $^1/_{520}$ grösser; welcher Unterschied aber so gering ist, dass er wohl auch einer Variation der Intensität des Erdmagnetismus zugeschrieben werden kann.

Der *elfte* Versuch wurde vier Stunden nach dem zehnten gemacht, und in dieser längeren Zwischenzeit wurde der Stab langsamer, als bei den früheren Versuchen, erwärmt. Inzwischen ergab der nach Wiedererkaltung des Stabes angestellte *zwölfte* Versuch auch wieder einen Verlust an Magnetismus, jedoch betrug derselbe nicht so viel, als früher, wo der Stab schneller erwärmt wurde, nämlich nur $^1/_{73}$ nach einer Erwärmung bis zu 22 Graden. Der *dreizehnte, vierzehnte* und *fünfzehnte* Versuch folgten wieder schneller auf einander, indem die Temperatur des Stabes wieder schneller ge-

---

[1]) [Resultate. 1837. I, p. 18. Gauss' Werke, Bd. V. p. 372.]

ändert wurde, und es ergab sich dann, wie früher, ein grösserer Verlust an Magnetismus, der nämlich über $^1/_8$ betrug nach einer Erwärmung bis zu 60°.

Zu allen bisherigen Versuchen hatte *ein* Magnetstab gedient, und dieser Magnetstab war nur einmal, wie angeführt worden ist, zwischen dem vierten und fünften Versuche, neu magnetisirt worden. Die folgenden Versuche wurden mit einem anderen, sehr starken Magnetstabe, der eben so lang, wie der vorige, aber 1737 Gramm schwer war, ausgeführt. Von diesen Versuchen sind der *sechszehnte, siebenzehnte, achtzehnte* und *neunzehnte* unter einander vergleichbar, weil sie schnell hinter einander gemacht wurden, und eben so der *zwanzigste, einundzwanzigste* und *zweiundzwanzigste.* Bei diesen letzteren Versuchen wurden jedesmal vier Beobachtungen, also eine Beobachtung mehr wie früher, gemacht, wie die Tabelle zeigt.

## *Zusammenstellung der Resultate.*

Da aus diesen Versuchen ein sehr bedeutender Verlust an Magnetismus in Folge grosser Temperaturerhöhungen hervorgeht; so leuchtet zuvörderst ein, dass man, wenn aus diesen Versuchen nicht der Intensitätsverlust sondern die *wiederherstellbare* Intensitätsänderung im Verhältniss der sie verursachenden Temperaturänderung bestimmt werden soll, die bei zunehmender Temperatur angestellten Versuche, bei denen jener Verlust wahrscheinlich erfolgte, aus der Rechnung ausschliessen müsse. Denn man will die Intensität für jeden Temperaturgrad erfahren, wie sie *ohne Entmagnetisirung* des Stabes sein würde. Eben so schliesst man bei Bestimmung des Elasticitäts-Modulus fester Körper diejenigen Versuche von der Rechnung aus, wo durch plötzliche Anspannung eine *bleibende* Dehnung oder Beugung des Körpers Statt fand und benutzt zur genaueren Bestimmung des Elasticitäts-Modulus, zur Vermeidung der von einer *bleibenden* Dehnung oder Beugung herrührenden Gefahr, blos die während der *Abspannung* angestellten Messungen. Beschränkt man sich auf die Vergleichung der bei *sinkender* Temperatur angestellten Versuche, wo kein Grund ist, eine Entmagnetisirung oder Wiedervereinigung der geschiedenen magnetischen Materien zu befürchten, so ergiebt sich daraus folgende Uebersicht, wo $t$ und $m$ die höhere Temperatur und die ihr entsprechende Intensität des Stabmagnetismus, $t_0$ und $m_0$ die niedere Temperatur und die ihr entsprechende Intensität des Stabmagnetismus bezeichnet. Der Koefficient $k$ der Intensitätszunahme für abnehmende Temperaturen ist nach der Formel:

$$k = \frac{2}{t - t_0} \cdot \frac{m_0 - m}{m_0 + m}$$

berechnet worden.

| No. | $t_0$ und $t$ | $m$ und $m_0$ | $k$ |
|---|---|---|---|
| II.<br>IV. | 43,22<br>0,00 | 304,97<br>316,59 | 0,000865 |
| III.<br>IV. | 30,32<br>0,00 | 308,83<br>316,59 | 0,000818 |
| VI.<br>VII. | 31,17<br>0,00 | 381,71<br>387,25 | 0,000441 |
| VIII.<br>IX. | 17,92<br>0,00 | 372,38<br>376,20 | 0,000570 |
| XI.<br>XII. | 19,52<br>0,00 | 368,30<br>371,84 | 0,000490 |
| XIII.<br>XV. | 58,12<br>0,00 | 312,15<br>327,26 | 0,000813 |
| XIV.<br>XV. | 32,60<br>0,00 | 320,10<br>327,26 | 0,000678 |
| XVII.<br>XIX. | 61,02<br>0,00 | 493,45<br>500,99 | 0,000248 |
| XVIII.<br>XIX. | 29,80<br>0,00 | 497,94<br>500,99 | 0,000205 |
| XX.<br>XXII. | 58,75<br>0,00 | 303,55<br>313,63 | 0,000556 |
| XXI.<br>XXII. | 30,30<br>0,00 | 308,64<br>313,63 | 0,000529 |

Es ergiebt sich hieraus zunächst, dass der Einfluss der Temperatur auf den Magnetismus sich *nicht für alle Magnete* ein für allemal bestimmen lasse, sondern dass er für jeden Magnet einzeln ermittelt werden muss. Man bemerkt nämlich leicht den grossen Unterschied, welcher zwischen den 7 ersten und 4 letzten Resultaten Statt findet, welche sich auf zwei verschiedene Magnete beziehen. — Ordnet man ferner die 7 ersten Resultate unter sich ihrer Grösse nach, und ebenso die 4 letzten, so braucht man blos bei jedem Resultate die *Intensität* beizuschreiben, welche der Magnet besass, und man wird sogleich die Abhängigkeit erkennen, in welcher der *Temperatureinfluss von der Intensität* des Stabmagnetismus steht. Der Temperatureinfluss ist desto grösser, je schwächer der Stabmagnetismus, desto kleiner, je stärker der Stabmagnetismus ist, wie man aus folgender Tabelle [S. 69] ersieht.

Nach diesen Versuchen sind noch einige gemacht worden, um die Bedenken zu heben, welche man bei den bisherigen Versuchen haben konnte: 1) weil die Magnetstäbe meist *schnell* erwärmt und erkaltet wurden; 2) weil die Magnetstäbe mit dem Wasser in *unmittelbare* Berührung kamen und vielleicht die Oxydation des Stahles Einfluss auf den Stabmagnetismus hatte.

Zu diesem Zwecke wurde ein ähnlicher Magnetstab, wie die bisher gebrauchten, in einem verschlossenen Zimmer frei aufgehangen und in Schwingung erhalten, während die Luft im Zimmer allmählig in 3 Stunden von 17° bis 29° erwärmt und die Nacht über wieder bis 18° abgekühlt wurde. Die Schwingungen dieses Stabes, der einen Spiegel trug, wurden von einem Nebenzimmer aus mit einem Fernrohr und einer Skale, wie beim Magnetometer, beobachtet, mit einer weit grösseren Schärfe, als bei kleinen Nadeln zu erreichen möglich ist. Ausserdem waren diese Versuche gerade am Tage des Juli-Termines (29. Juli) veranstaltet worden, wo die Intensitäts-Variationen des Erdmagnetismus mit dem neuen *Bifilar-Magnetometer* zum ersten Mal in Göttingen beobachtet wurden, und es konnte also bei diesen, einen längeren Zeitraum umfassenden Versuchen der Einfluss jener Variationen ausgeschlossen werden, wodurch die Resultate dieser Schwingungsversuche eine grosse Schärfe erhielten. Aber auch diese Versuchsreihe hat zu dem Resultate geführt, dass bei steigender Temperatur der *Intensitätsverlust* weit grösser war, als der *Intensitätsgewinn* bei sinkender Temperatur.

| | Intensitätszunahme für 1 Grad Temperaturabnahme in Theilen der ganzen Intensität. | Intensität des Stabmagnetismus. |
|---|---|---|
| Erster Stab. | 0,000865 | 310,7 |
| | 0.000818 | 312,7 |
| | 0,000813 | 319,7 |
| | 0,000678 | 323,7 |
| | 0,000570 | 374,3 |
| | 0,000490 | 370,1 |
| | 0,000441 | 384,5 |
| Zweiter Stab. | 0,000556 | 308,6 |
| | 0,000529 | 311,1 |
| | 0,000248 | 497,2 |
| | 0,000205 | 499,5 |

Unter diesen Verhältnissen hat es besonderes Interesse, das ganze Phänomen des gleichzeitigen Steigens und Fallens und des Fallens und Steigens der Temperatur und der Intensität eines Magnetstabes in möglichster Vollständigkeit zu übersehen. Zu diesem Zwecke eignet sich allein die letzte Methode, welche im Eingange beschrieben worden ist, nämlich 2 Ablenkungsstäbe zugleich von entgegengesetzten Seiten (von Osten und Westen her) auf das Magnetometer wirken zu lassen, und zwar sie beide dem Magnetometer so zu nähern, dass, während sie zusammen den Stand des Magnetometers gar nicht ändern, jeder einzeln eine viel grössere Ablenkung hervorbringen würde, als mit dem Magnetometer unmittelbar gemessen werden kann. Der eine dieser Stäbe musste

dann in konstanter Temperatur erhalten werden, während der andere in einer kupfernen Wanne lag und mit Wasser umgeben wurde, welches durch zwei unter die Wanne gesetzte Spirituslampen erwärmt werden konnte. In dem Wasser stand ein Thermometer. Die Beobachtung dieses Thermometers schien aber zur Ermittelung der Temperatur des Stabes nicht auszureichen, weil bei steigender Temperatur der Stab gewiss nicht *augenblicklich* die Temperatur des umgebenden Wassers annahm. Hierzu kam, dass es auch aus anderen Gründen angemessen erschien, den Stab mit dem Wasser nicht in unmittelbare Berührung treten zu lassen. Daher wurde eine messingene Scheide angewandt, die den Magnetstab von unten und von allen Seiten eng umschloss, während der Raum über dem Magnetstabe mit Sand ausgefüllt wurde. In diesen Sand wurde ein zweites Thermometer gesetzt und es war unter den vorhandenen Verhältnissen sicher anzunehmen, dass die Temperatur des Stabes zwischen der Temperatur des Wassers und des Sandes war. Es wurde nun für so langsame Erwärmung und Erkaltung des Apparates gesorgt, dass die beiden Thermometer selten um einige Grade differirten. Auch bei diesen Versuchen wurden die Deklinationsvariationen des Erdmagnetismus an einem zweiten Magnetometer, in der Sternwarte, fortlaufend beobachtet, um sie bei den im magnetischen Observatorium gemachten Versuchen in Abrechnung zu bringen. Auf diese Weise ist folgende Reihe von Versuchen gemacht worden.

1837. Oktober 17.

Beobachter: Hr. D. Goldschmidt, D. Peters, Wilhelm Weber.

Ein 1720 Gramm schwerer, 608 Millimeter langer Magnetstab von Uslarschem Gussstahl, der mit No. 27 bezeichnet ist, wurde östlich vom Magnetometer im magnetischen Observatorium, etwa 1200 Millimeter davon entfernt, mit dem Nordpole nach Westen gekehrt, aufgelegt. Ein anderer solcher (1740 Gramm schwerer, 608 Millimeter langer) Stab, der mit No. 33 bezeichnet war, wurde westlich, etwa ebenso weit entfernt, mit dem Nordpole nach Osten gekehrt, aufgelegt. Die Temperatur von No. 27 war vor dem Anfang und nach dem Ende der Versuche folgende:

| | |
|---|---|
| $9^h$ 20′ | $14^0$ 25 |
| 12 10′ | $14^0$ 50 |

Zur Bestimmung der Temperaturen von No. 33 wurden während der Versuche die Temperaturen des ihn umgebenden Wassers und Sandes gemessen, wie in der nachfolgenden Tabelle angegeben worden ist.

| Zeit. | Temperatur | | Magnetometer | | Korrigirter Magnetometer-Stand. | Temperatur des Stabes. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Wasser. | Sand. | M. O. | Sternw. | | |
| 9h30′ | 11,30 | 11,90 | 889,58 | 41,07 | 848,51 | 11,60 |
| 35′ | 11,30 | 11,83 | 887,19 | 39,27 | 847,92 | 11,56 |
| 40′ | 14,30 | 13,37 | 882,88 | 35,90 | 846,98 | 13,83 |
| 45′ | 22,00 | 19,17 | 876,90 | 34,60 | 842,30 | 20,58 |
| 50′ | 28,63 | 25,03 | 857,79 | 34,41 | 823,38 | 26,83 |
| 55′ | 34,27 | 30,50 | 822,06 | 31,68 | 790,38 | 32,38 |
| 10h 0′ | 38,93 | 35,30 | 781,78 | 30,86 | 750,92 | 37,11 |
| 5′ | 40,47 | 38,77 | 748,20 | 29,88 | 718,32 | 39,62 |
| 10′ | 40,18 | 39,93 | 727,64 | 28,13 | 699,51 | 40,05 |
| 15′ | 40,18 | 40,60 | 716,88 | 27,86 | 689,02 | 40,39 |
| 20′ | 40,10 | 41,17 | 708,76 | 27,11 | 681,65 | 40,63 |
| 25′ | 40,53 | 41,57 | 703,08 | 26,04 | 677,04 | 41,05 |
| 30′ | 40,70 | 41,60 | 699,00 | 23,75 | 675,25 | 41,15 |
| 35′ | 40,65 | 41,65 | 696,11 | 23,29 | 672,82 | 41,15 |
| 40′ | 40,60 | 42,03 | 693,03 | 22,81 | 670,22 | 41,31 |
| 45′ | 41,00 | 42,10 | 690,02 | 21,24 | 668,78 | 41,55 |
| 50′ | 41,07 | 42,27 | 687,67 | 20,00 | 667,67 | 41,67 |
| 55′ | 40,17 | 41,83 | 685,85 | 18,27 | 667,58 | 41,00 |
| 11h 0′ | 38,93 | 41,00 | 684,48 | 16,40 | 668,08 | 39,96 |
| 5′ | 37,68 | 39,73 | 684,91 | 14,92 | 669,99 | 38,70 |
| 10′ | 36,57 | 38,72 | 685,65 | 14,44 | 671,21 | 37,64 |
| 15′ | 35,47 | 37,73 | 685,53 | 12,75 | 672,78 | 36,60 |
| 20′ | 34,53 | 36,67 | 687,04 | 13,07 | 673,97 | 35,60 |
| 25′ | 33,57 | 35,63 | 687,29 | 12,44 | 674,85 | 34,60 |
| 30′ | 32,70 | 34,80 | 687,26 | 10,33 | 676,93 | 33,75 |
| 35′ | 31,87 | 34,00 | 688,02 | 10,15 | 677,87 | 32,93 |
| 40′ | 31,07 | 33,27 | 687,94 | 9,12 | 678,82 | 32,17 |
| 45′ | 30,27 | 32,40 | 688,48 | 8,39 | 680,09 | 31,33 |
| 50′ | 29,63 | 31,63 | 689,30 | 8,47 | 680,83 | 30,63 |
| 55′ | 28,97 | 30,83 | 685,51 | 2,89 | 682,62 | 29,90 |
| 12h 0′ | 28,20 | 30,30 | 687,38 | 3,70 | 683,68 | 29,25 |

Hierauf wurde noch ein Versuch gemacht, die *ganze* Intensität des untersuchten Stabes No. 33 zu ermitteln, und zwar nach demselben Maassstabe, nach welchem die *Variationen* gemessen worden waren, um letztere in Theilen der ganzen Intensität ausdrücken zu können. Die Intensitäts-Variationen sind aber in Skalentheilen des Magnetometers angegeben worden; in denselben muss folglich auch die ganze Intensität des Stabes No. 33 ausgedrückt werden. Dieser Versuch ist auf folgende Weise ausgeführt worden.

Das Magnetometer stand zuletzt (12h 0′) auf 687,38. Wäre nun der Magnetstab No. 33 ganz weggenommen worden, so wäre das Magnetometer von diesem Stande so weit abgelenkt worden, dass die Skale weit aus dem Felde gegangen und also keine Messung des Ausschlags möglich gewesen wäre. Darum wurde der Stab nicht ganz weggenommen, sondern nur etwas zurückgezogen, um nicht auf einmal den ganzen Ausschlag, sondern zuerst nur *einen Theil* desselben mittelst der Skale zu messen. Dieser Theil betrug 633,9 Skalentheile. Dabei

war das Magnetometer fast bis ans äusserste Ende der Skale geführt worden. Um nun dieselbe Skale zu benutzen, um einen zweiten Theil des gesuchten Ausschlags zu messen, wurde bei unverrückter Lage des Stabes No. 33 der andere Stab No. 27 etwas zurückgezogen und dadurch bewirkt, dass das Magnetometer zum anderen Ende der Skale zurückgeführt wurde. Hierdurch war die Vorbereitung zur Messung eines *zweiten Theiles* getroffen, indem nun bei einer weiteren Zurückziehung des Stabes No. 33 das Magnetometer fast die ganze Skale zu durchlaufen Raum hatte. Wirklich wurde nun der Stab No. 33 zurückgezogen und zwar um ein weit grösseres Stück, als das erste Mal, und es ergab sich dann dieser zweite Theil zu 1598,8 Skalentheilen. Nach einer ähnlichen Vorbereitung, wie zur Messung des zweiten Theiles, wurde endlich auch der *dritte Theil* oder der letzte Rest des zu messenden Ausschlages zu 1157,8 Skalentheilen gefunden. Summiren wir diese 3 Theile, so erhalten wir den *am Ende* der Versuche der *ganzen* Intensität des Stabes No. 33 entsprechenden Ausschlag des Magnetometers in Skalentheilen, nämlich:

3390,5 Skalentheile.

Fügt man hierzu den Unterschied der korrigirten Magnetometerstände am Anfang und Ende der Versuche, nämlich 848,51 — 683,68 = 164,83, so erhält man die Intensität des Stabes zu *Anfang* der Versuche zu

3555,33 Skalentheilen.

Zieht man dagegen den Unterschied der Magnetometerstände zu Ende und zu Anfang der *sinkenden* Temperaturen ab, nämlich 683,68 — 668,08 = 15,6, so erhält man die Intensität des Stabes zu Anfang der *sinkenden* Temperaturen zu

3374,9 Skalentheilen,

und folglich die mittlere Intensität *während des Sinkens* zu

3382,7 Skalentheilen.

Man sieht die in der obigen Tabelle numerisch zusammengestellten Versuche, auf Taf. V Fig. 1 graphisch dargestellt, indem die Zeiten als Abscissen, die Temperaturen und Intensitäten als Ordinaten aufgetragen sind. Die obere Kurve ist die Temperaturen-Kurve, die untere die Intensitäten-Kurve. In der Temperaturen-Kurve unterscheidet man 3 Abschnitte, nämlich: 1) den Abschnitt der fast gleichförmig steigenden, 2) den Abschnitt der fast unveränderten, 3) den Abschnitt der fast gleichförmig sinkenden Temperatur. Auch in der Intensitäten-Kurve unterscheiden sich die entsprechenden Abschnitte wesentlich von einander, und jeder scheint einem eigenthümlichen Gesetze zu folgen.

Zur leichteren Uebersicht der in obiger Tabelle zusammengestellten numerischen Resultate können folgende Formeln gebraucht werden:

1) Für den Zeitraum der sinkenden Temperaturen (von $11^h\ 5'$ bis $12^h\ 0'$) reicht zur Berechnung der (korrigirten) Magnetometerstände der einfache Ausdruck hin

$$724{,}89 - 1{,}4262 \,.\, n,$$

wo $n$ die Temperatur in Graden der 100theiligen Skale bezeichnet.

2) Für den Zeitraum der unveränderten Temperatur (von $10^h\ 4'$ bis $11^h\ 0'$) braucht man wegen des *allmählig* eintretenden Intensitäts-Verlustes nur noch eine von der Zeit $t$ abhängige Korrektion beizufügen, nämlich, wenn man die Zeit $t$ in Minuten angiebt und von $10^h\ 4'$ an rechnet, folgende Korrektion:

$$\frac{720}{11 + t} - 10{,}83.$$

3) Für den Zeitraum der der Zeit fast proportional steigenden Temperaturen endlich muss man der für den Grenzaugenblick $10^h\ 4'$ geltenden Korrektion $\left(\frac{720}{11} - 10{,}83\right)$ noch eine der Temperatur-Aenderung, d. i. der Zeit $t$, proportionale Korrektion beifügen, nämlich:

$$-6\,.\,t.$$

Zum Beweise diene folgende Zusammenstellung der beobachteten und berechneten Intensitäten, welche alle Versuche der obigen Tabelle umfasst, mit Ausnahme der 4 ersten, welche weggelassen worden sind, weil bei ihnen die Temperaturbestimmung weniger sicher zu sein schien.

| No. | Zeit. | Beobachtet. | Berechnet. | Unterschied. |
|---|---|---|---|---|
| III. | $9^h 50'$ | 823,38 | 825,25 | — 1,87 |
| | 55′ | 790,38 | 787,33 | + 3,05 |
| | $10^h\ 0'$ | 750,92 | 750,58 | + 0,34 |
| II. | $10^h\ 5'$ | 718,32 | 717,56 | + 0,76 |
| | 10′ | 699,51 | 699,29 | + 0,22 |
| | 15′ | 689,02 | 689,19 | — 0,17 |
| | 20′ | 681,65 | 682,78 | — 1,13 |
| | 25′ | 677,04 | 678,02 | — 0,98 |
| | 30′ | 675,25 | 674,83 | + 0,42 |
| | 35′ | 672,82 | 672,51 | + 0,31 |
| | 40′ | 670,22 | 670,46 | — 0,24 |
| | 45′ | 668,78 | 668,65 | + 0,13 |
| | 50′ | 667,67 | 667,26 | + 0,41 |
| | 55′ | 667,58 | 667,20 | + 0,38 |
| I. | $11^h\ 0'$ | 668,08 | 667,90 | + 0,18 |
| | 5′ | 669,99 | 669,70 | + 0,29 |
| | 10′ | 671,21 | 671,21 | 0,00 |
| | 15′ | 672,78 | 672,69 | + 0,09 |
| | 20′ | 673,97 | 674,12 | — 0,15 |
| | 25′ | 674,85 | 675,54 | — 0,69 |
| | 30′ | 676,93 | 676,76 | + 0,17 |
| | 35′ | 677,87 | 677,93 | — 0,06 |
| | 40′ | 678,82 | 679,01 | — 0,19 |
| | 45′ | 680,09 | 680,21 | — 0,11 |
| | 50′ | 680,83 | 681,20 | — 0,37 |
| | 55′ | 682,62 | 682,25 | + 0,37 |
| | $12^h\ 0'$ | 683,68 | 683,17 | + 0,51 |

Dividirt man den unter (1.) angeführten Faktor 1,4262 mit der in Skalentheilen ausgedrückten mittleren Intensität des Magnetstabes (= 3282,7), so erhält man den Koefficienten $k$ der Intensitätszunahme für abnehmende Temperaturen

$$k = \frac{1,4262}{3382,7} = 0,000422.$$

Zur vollständigen Bestimmung des Magnetismus unseres Stabes gehört noch die Angabe der Schwingungsdauer, die vor dem Beginn der Versuche gemessen und zu 19″357 gefunden worden ist.

Schliesslich werde noch erwähnt, dass eine eben solche Reihe von Versuchen, wie die eben beschriebenen, aber, statt mit Magnetstäben von Uslarschem Gussstahl, mit Magnetstäben von feinem englischen Gussstahl (Huntsman 21) gemacht worden ist. Auch waren die letzteren viel kleiner als die ersteren. Dennoch hat diese zweite Reihe von Versuchen zu so ganz ähnlichen Resultaten geführt, dass es überflüssig erscheint, sie hier ausführlich mitzutheilen. Es ist genug, dass dadurch entschieden ist, dass das beschriebene Verhalten des Magnetismus zur Temperatur nicht etwa in der individuellen und materiellen Beschaffenheit desjenigen Trägers (von Uslarschem Gussstahl), welcher zuerst angewandt worden war, noch auch in der Grösse und Gestalt desselben begründet ist, sondern, dass auch Magnete von anderen Stahlsorten und von verschiedener Grösse und Gestalt zu gleichen Ergebnissen führen.

Für die *Anwendung* ergiebt sich aus der mitgetheilten Untersuchung

1) die Wichtigkeit, zum Magnetometer überhaupt, insbesondere aber zum Bifilar-Magnetometer *sehr stark* magnetisirte Stäbe zu gebrauchen, um die Einflüsse der Temperatur dadurch zu mindern. Schon aus diesem Grunde dürfte es rathsam sein, statt 25pfündiger, etwa 10pfündige Stäbe zu gebrauchen (obgleich jene sonst den Vorzug verdienen), wenn man nicht die zur stärksten Magnetisirung jener Stäbe erforderlichen grossen Streichmittel besitzt.

2) Die Wichtigkeit, ein Lokal zu haben, wo möglichst geringe Temperaturänderungen und sehr langsam eintreten. Wo die Gelegenheit dazu ist, wird ein unterirdisches Gewölbe, oder, wie in Freiberg, ein unterirdischer Stollen im Bergwerke mit grossem Vortheil zum magnetischen Observatorium verwandt.

3) Die Wichtigkeit, in kurzen Zwischenzeiten Prüfungen der absoluten Intensität der Magnetometerstäbe vorzunehmen, weil Korrektionen wegen der Temperatur nur theilweise (z. B. bei sinkender Temperatur) mit einiger Sicherheit gemacht werden können; für lange Zwischenzeiten aber, in denen grosse Temperaturschwankungen Statt gefunden haben, gar nicht zulässig sind. *W.*

V.

# Das Induktions-Inklinatorium[1]).

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1837, V, S. 81—96. Abgedruckt in den Annalen der Physik und Chemie, herausgeg. v. Poggendorff, Bd. 43, S. 493.]

Es wird in diesen Blättern in der Folge von mehreren verschiedenen Methoden die Rede sein, wie man die Inklination der erdmagnetischen Kraft messen kann, und es werden mehrere Instrumente beschrieben werden, welche zur feinsten Anwendung jener Methoden geeignet scheinen. Es wird dabei einleuchtend werden, wie weder die Feinheit der Instrumente, noch die Verschiedenheit der Methoden, nach denen sie konstruirt sind, ganz zu dem Ziele geführt haben, welches man zu erreichen wünschte, nämlich diese Messungen zu einer eben solchen Genauigkeit zu bringen, wie die Deklinations- und Intensitäts-Messungen wirklich schon erreicht haben. Es liegen in der Natur der Sache Gründe verborgen, welche die Erreichung jenes Wunsches vereiteln, und sich im Wesentlichen auf zwei Haupthindernisse zurückführen lassen, welche hervorgehen 1) aus der Nothwendigkeit, die Magnetnadel während der Messung neu zu magnetisiren (ihre Pole umzukehren), wobei die Nadel sehr leicht irgend eine kleine Veränderung erleiden kann; 2) aus der Nothwendigkeit der vertikalen Drehung, wo sich die Einflüsse der Schwere mit den magnetischen Kräften vereinigen und sehr schwer scheiden lassen. Wenn darum die Inklinations-Messungen nie diejenige Präcision erlangen werden, wie die Deklinations- und Intensitäts-Messungen, so verdienen alle Mittel zur Inklinations-Messung um so mehr recht sorgfältig aufgesucht, geprüft und verglichen zu werden, um unter ihnen allen nach den Verhältnissen immer die besten zu wählen und dem unerreichbaren Ziele wenigstens recht nahe zu kommen.

Insbesondere muss es von Interesse sein, *ein* Mittel kennen zu lernen, welches frei ist von jenen beiden Haupthindernissen genauer Inklinations-Messungen, nämlich eine Methode, die Inklination der erdmagnetischen Kraft *ohne Umkehrung der Pole, mit einer nur in horizontaler Ebene drehbaren Boussole* zu messen. Die Beschreibung dieser

[1]) [Hierzu Tafel V, Fig. 2 und 3.]

in ihrer Art einzigen Methode ist der Gegenstand des gegenwärtigen Aufsatzes.

Die Inklinations-Messung ohne Umkehrung der Pole mit einer nur in horizontaler Ebene drehbaren Boussole kann allein durch die Benutzung der *galvanischen* Kraft bewerkstelligt werden, die nach dem Induktionsgesetze vom Erdmagnetismus in einem bewegten galvanischen Leiter ebenso, wie vom Stabmagnetismus hervorgebracht werden kann. Diese *Wirkung* des Erdmagnetismus kann, wenn sie genau beobachtet und gemessen wird, zur Erforschung der *Ursache,* d. i. zur Erforschung des Erdmagnetismus selbst dienen.

Die Induktion eines galvanischen Stromes durch die erdmagnetische Kraft ist nun zwar an sich ebenso leicht als durch Stabmagnete zu bewirken, aber sie ist so schwach, dass sie meist gar nicht beobachtet, geschweige genau gemessen werden kann. Auch Faraday scheint mehrere vergebliche Versuche gemacht zu haben, bis sie ihm, wie er sagt[1]), zuletzt auf mehreren Wegen wirklich gelangen; alle von ihm beobachteten Wirkungen sind jedoch sehr schwach gewesen.

Es wird in der Folge in diesen Blättern von einem grossen Apparate die Rede sein, mit welchem es Herrn Hofrath Gauss gelungen ist, diese durch die Erde inducirten galvanischen Ströme so stark zu machen, dass sie mit dem Magnetometer ganz genau gemessen werden konnten. Die Resultate dieser Messungen haben zu den genauesten Bestimmungen des bisher noch gar nicht *gemessenen* Induktionsvermögens der magnetischen Kräfte geführt. Da diese neue mit dem Magnetometer ausgeführte Untersuchung in der Folge ausführlich mitgetheilt werden wird, so möge hier nur bemerkt werden, dass, um diese Messungen mit dem Magnetometer recht scharf zu machen, nöthig war, zum Induktor und Multiplikator etwa 20,000 Fuss übersponnenen Kupferdrahtes zu verwenden. Ohne dem würden genaue Messungen nicht möglich gewesen sein.

Verzichtet man aber auf die feine Messung, welche das Magnetometer gestattet und begnügt sich mit einer gewöhnlichen Boussole, so lässt sich ein Apparat zu gleichem Zwecke so darstellen, dass der von der erdmagnetischen Kraft inducirte Strom eine Ablenkung hervorbringt, die viel grösser ist, als diejenigen, welche man mit dem Magnetometer messen kann. Diese grosse Wirkung ergiebt sich aus einer merkwürdigen Vereinfachung, deren der Apparat durch Anwendung einer gewöhnlichen, auf einer Spitze sich drehenden Boussole, fähig wird.

Diese Vereinfachung besteht darin, dass man nicht einen besonderen Ring als Induktor, um den galvanischen Strom hervorzubringen,

---

[1]) (Phil. Transakt. f. 1832, p. 165.)

und wieder einen besonderen Ring als Multiplikator gebraucht, um den im Induktor hervorgebrachten galvanischen Strom auf eine Magnetnadel wirken zu lassen, sondern einen und denselben Ring als *Induktor* und zugleich als *Multiplikator* dienen lässt. Von selbst ergiebt sich dann auch, dass dieser Ring noch zwei andere Dienste leistet, nämlich als *Kommutator* und als *Dämpfer*. Wir wollen *zuerst* den Apparat betrachten, in wie fern er diese verschiedenen Dienste gleichzeitig leistet, *sodann* wird sich von selbst ergeben, wie der Apparat als Inklinatorium dienen und was er als solches leisten kann.

Der Mechanismus dieses neuen Instrumentes wird durch die Abbildung Taf. V Fig. 2 deutlich werden. Man sieht einen Kupferring mit horizontaler Axe versehen, der durch Rad und Getriebe schnell gedreht werden kann. In diesem Ringe sieht man eine Boussole frei auf einer Spitze schweben, die von einem runden horizontalen Zapfen getragen wird, welcher durch den Kupferring geht und die Verlängerung der Drehungsaxe des Ringes bildet. Der Kupferring dreht sich um diesen Zapfen, ohne ihn und die Spitze, auf welcher die Magnetnadel ruht, zu bewegen.

Stellt man dieses einfache Instrument so auf, dass die Drehungsaxe des Kupferringes horizontal ist und mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, so wird die im magnetischen Meridiane liegende magnetische Axe der Boussole auch in der Drehungsaxe des Kupferringes sich befinden. Wenn nun die magnetische Axe der Boussole in der Drehungsaxe des Kupferringes liegt, so kann der Nadelmagnetismus im Kupferringe keinen galvanischen Strom induciren. Eben so wenig kann die horizontale erdmagnetische Kraft einen Strom induciren, weil sie nach eben der Richtung wirkt. Wohl aber muss die vertikale erdmagnetische Kraft einen galvanischen Strom in dem Kupferringe induciren, wenn er um eine horizontale Axe gedreht wird.

Betrachtet man also den Kupferring *zuerst* als Induktor, so hat man ihn blos in seinen Beziehungen auf die *vertikale* erdmagnetische Kraft zu untersuchen.

Denselben Kupferring kann man aber auch *zweitens* als einen Multiplikator betrachten, durch welchen der von der vertikalen erdmagnetischen Kraft inducirte Strom hindurchgeht. Dieser die Boussole umgebende Multiplikator muss dann eine Ablenkung der Boussole bewirken. Der Kupferring behält zwar nicht während der ganzen Umdrehung die günstigste Stellung, die er als Multiplikator haben könnte; jedoch ergiebt sich, dass er diese günstigste Stellung (als Multiplikator) gerade in den Augenblicken bei jeder Umdrehung hat, wo der von der vertikalen erdmagnetischen Kraft inducirte Strom am stärksten ist, und die ungünstigste Stellung nur dann, wenn der inducirte Strom Null ist.

*Drittens* kann man denselben Kupferring auch noch, wegen seiner Drehung, als Kommutator betrachten. Es ist nämlich bekannt, dass man, statt den galvanischen Strom im Multiplikator mit Hülfe eines Kommutators umzukehren, mit gleichem Erfolge den Multiplikator selbst umdrehen kann, wo dann die Drehung des Multiplikators den Kommutator ersetzt. Dies ist bei unserem Kupferringe der Fall, der, als Induktor, herumgedreht werden muss, und dadurch, als Multiplikator, von selbst auch die Stelle des Kommutators vertritt und bewirkt, dass die von der vertikalen erdmagnetischen Kraft abwechselnd positiv und negativ inducirten Ströme die Boussole immer nach derselben Seite ablenken.

Dass endlich *viertens* derselbe Kupferring auch als Dämpfer dient, bedarf keiner weiteren Erläuterung. Nur muss bemerkt werden, wie nützlich dieser Umstand für die Ausführung der Messung wird, weil durch die schnelle Dämpfung der Schwingungen die Boussole bei fortgesetzter Drehung des Induktors fast eben so ruhig und fest in ihrer abgelenkten Lage beharrt, wie sonst im magnetischen Meridiane, ungeachtet doch bei einem nicht ganz vollkommenen Mechanismus kleine Anstösse, welche die Nadel in Schwingung setzen müssen, nicht vermieden werden können.

Die Theorie dieses Instrumentes lässt sich nicht vollständig entwickeln, ohne mehrere Sätze zu Hülfe zu nehmen, welche Herr Hofrath Gauss durch seine Untersuchungen über Galvanismus, Magnetismus und Induktion gefunden hat und in diesen Blättern mitzutheilen beabsichtigt. Inzwischen leuchtet so viel schon aus dem Gesagten ein, dass zwei Kräfte auf unsere Boussole wirken, die *eine* parallel mit dem magnetischen Meridiane (die Direktionskraft), die *andere* senkrecht gegen den magnetischen Meridian (die ablenkende Kraft). Jene *Direktionskraft* rührt vom horizontalen, diese *ablenkende Kraft* dagegen von dem vertikalen Erdmagnetismus her, und die Tangente des Ablenkungswinkels muss daher dem Verhältnisse des vertikalen und horizontalen Erdmagnetismus, d. i. der Tangente der gesuchten Neigung, *proportional* sein. Die *horizontale* erdmagnetische Kraft wirkt *unmittelbar* auf die in horizontaler Ebene drehbare Nadel: sie ist es, durch welche die Nadel die Richtung des magnetischen Meridians zeigt. Die *vertikale* erdmagnetische Kraft kann dagegen auf die blos in horizontaler Ebene drehbare Nadel nur *mittelbar* wirken, indem sie selbst zwar aufgehoben wird, durch Induktion aber eine neue *horizontale* auf den Meridian senkrechte Kraft erzeugt. Wäre diese *horizontale* Kraft jener vertikalen, durch die sie entsteht, gleich, so würde die Tangente der Ablenkung, die sie der Deklinationsnadel ertheilt, der Tangente der Neigung gleich sein, welche jene Kraft der Inklinationsnadel ertheilt. Da aber

in der That diese *horizontale* Kraft der vertikalen, durch die sie entsteht, blos *proportional* ist, so ist auch die Tangente der Ablenkung, die sie der Deklinationsnadel ertheilt, der Tangente der Neigung, welche jene Kraft der Inklinationsnadel ertheilt, blos *proportional.*

Der durch die vertikale erdmagnetische Kraft in dem Kupferringe inducirte *galvanische Strom* ist

1. der vertikalen erdmagnetischen Kraft ($T'$) direkt,
2. der vom Ringe umschlossenen Kreisfläche ($\pi r^2$) direkt,
3. dem Kosinus des Winkels ($\varphi$) der Ringebene mit der Vertikalen direkt,
4. dem Drehungswinkel ($d\varphi$) direkt,
5. dem Widerstande ($\omega$) des Ringes umgekehrt

proportional und kann dem Produkte

$$\frac{T'}{\omega} \cdot \pi r^2 . \cos\varphi . d\varphi$$

gleichgesetzt werden, wenn man demgemäss das Maass für alle galvanischen Ströme einzurichten sich vorbehält.

Die *ablenkende* Kraft, die ein solcher Strom auf eine im Mittelpunkte des Ringes aufgestellte Boussole ausübt, ist

1. dem Strome $\left(\frac{T'}{\omega} \cdot \pi r^2 . \cos\varphi . d\varphi\right)$ direkt,
2. dem Nadelmagnetismus ($M$) direkt,
3. der Ringperipherie ($2\pi r$) direkt,
4. dem Kosinus des Winkels ($\varphi$) der Ringebene mit der Vertikalen direkt,
5. dem Quadrate des Ringhalbmessers ($r$) umgekehrt

proportional, und kann dem Produkte

$$\frac{T'}{\omega} \cdot \pi r^2 . \cos\varphi . d\varphi . \frac{2\pi r}{r^2} \cdot M . \cos\varphi = \frac{2\pi^2 r}{\omega} \cdot MT' . \cos^2\varphi . d\varphi$$

gleichgesetzt werden, wenn man demgemäss das Maass des Widerstandes $\omega$ einzurichten sich vorbehält.

Hiernach erhält man die *ablenkende* Kraft durch eine halbe Umdrehung des Ringes, wenn man

$$\frac{2\pi^2 r}{\omega} \cdot MT' . \cos^2\varphi . d\varphi$$

von $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ bis $\varphi = +\frac{\pi}{2}$ integrirt, d. i.

$$\frac{2\pi^2 r}{\omega} \cdot MT' \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{\pi^3 r}{\omega} \cdot MT'.$$

Die *ablenkende* Kraft durch $n$ Umdrehungen (in 1 Sekunde) folglich

$$\frac{2n\pi^3 r}{\omega} \cdot MT'.$$

Die *Direktionskraft,* d. i. die Kraft des horizontalen Erdmagnetismus auf die Boussole, ist dem horizontalen Erdmagnetismus ($T$) und dem Nadelmagnetismus ($M$) proportional, und nach bekannten Maassen dem Produkte

$$MT$$

gleich zu setzen.

Das Verhältniss der ablenkenden Kraft zur Direktionskraft, oder die Tangente der Ablenkung ($v$) ergiebt sich hiernach

$$\text{tang } v = \frac{2n\pi^3 r}{\omega} \cdot \frac{MT'}{MT},$$

oder

$$\text{tang } v = \frac{2n\pi^3 r}{\omega} \cdot \text{tang } i,$$

wo $i$ die Inklination der erdmagnetischen Kraft, folglich tang $i$ das Verhältniss $\frac{T'}{T}$ des vertikalen und horizontalen Erdmagnetismus bedeutet.

Hiernach ergiebt sich die einfache Anwendung, die man von diesem Instrumente auf die Inklinationsmessung machen kann, wenn man sich auf relative Messungen beschränken will. Bezeichnet man nämlich die Werthe von $v$ an mehreren Orten mit $v'$, $v''$ etc. und die entsprechenden Werthe von $i$ mit $i'$, $i''$ etc., und bedenkt, dass bei gleichem Gebrauche des Instrumentes und bei gleicher Temperatur[1]) die Grössen $n$, $r$, $\omega$ unverändert bleiben, so hat man

$$\frac{\text{tang } i'}{\text{tang } v'} = \frac{\text{tang } i''}{\text{tang } v''} = \text{etc.}$$

Bezeichnet man den gemeinschaftlichen Werth dieser Brüche mit $a$, und ermittelt durch Vergleichung des mit unserem Instrumente gewonnenen Resultates mit dem Resultate einer genauen absoluten Inklinationsmessung den konstanten Werth von $a$; so erhält man in der Folge immer die wahre Neigungstangente, sobald man nur die mit unserem Instrumente gefundene Ablenkungstangente mit jener Konstanten multiplicirt, weil

$$\text{tang } i = a \text{ tang } v$$

ist.

Dieses Instrument ist besonders auf Reisen sehr zu empfehlen, wo man die Inklination blos vergleichungsweise zu bestimmen braucht, weil eine absolute Messung doch weit besser zu Haus oder in einem zweckmässig eingerichteten magnetischen Observatorium, als unterwegs, aus-

[1]) (Mit der Temperatur würde sich der Leitungswiderstand des Kupfers oder $\omega$ etwas verändern.)

geführt werden kann. Die ganze Messung reducirt sich mit unserem Instrumente blos auf zweimalige Ablesung der Boussole, während der Induktor taktmässig vorwärts und rückwärts gedreht wird. Der Unterschied beider Ablesungen giebt unmittelbar den Werth von $2v$, und also auch den Werth von $\tang v$.

Der Vortheil, den dieses Instrument vor allen anderen Inklinatorien dadurch hat, dass keine Umkehrung der Pole nöthig und kein Einfluss der Schwere, der erst durch Kombination mehrerer Versuche eliminirt werden müsste, möglich ist, ist so gross, und die Einfachheit und Bequemlichkeit der damit auszuführenden Messung so wichtig, dass die Schwierigkeiten, welche eine recht vollkommene Ausführung jedes neuen Instrumentes hat, wohl überwunden zu werden verdienen. Verzichtet man aber auch vor der Hand noch auf grosse Vollkommenheit in der mechanischen Ausführung des Instrumentes, so kann doch das Beispiel desjenigen Instrumentes, womit die sogleich zur Erläuterung des Vorgetragenen zu beschreibenden Versuche gemacht worden sind, zum Beweise dienen, wie leicht nach dieser Methode Instrumente, die fast eben so genaue Resultate, als die meisten Inklinatorien, geben, darzustellen sind. Es wurde nämlich zur ersten Probe ein Instrument blos aus vorhandenen Materialien (aus einer kleinen Boussole und einem Getriebe) zusammengesetzt und aus Kupferblech Ringe geschnitten, die, mit dem Getriebe verbunden, als Induktor dienten. Die Versuche mit diesem unvollkommenen Instrumente haben, wie wir sehen werden, unter einander eine Uebereinstimmung bis auf $^1/_2$ Grad bei einem zu messenden Unterschiede von 21 Grad ergeben, eine Genauigkeit, die ungefähr auch $^1/_2$ Grade in der Berechnung der absoluten Neigung entspricht. Wenn nun auch bei anderen Inklinatorien die unmittelbaren Ablesungen feiner sind, so kann man doch bei den meisten zweifeln, ob das Endresultat genauer sei.

Herr Mechanikus Meyerstein hierselbst ist jetzt damit beschäftigt, dasselbe Instrument vollkommener auszuführen. Er beabsichtigt, es in der Art, wie Taf. V Fig. 2 darstellt, zu arbeiten, und ihm einen dreifachen Vorzug vor dem früheren zu verschaffen, nämlich: 1. eine gleichförmigere und schnellere Drehung durch Anwendung von Friktionsrollen; 2. eine grössere Genauigkeit durch Verdoppelung des zu messenden Ausschlages; 3. eine grössere Genauigkeit durch mikroskopische Ablesung des Ausschlages.

### *Versuche mit dem Induktions-Inklinatorium.*

1. *Dimensionen des kupfernen Induktors.*

100 Millimeter war der innere Durchmesser,

161 „ der äussere Durchmesser des Kupferringes.

Der ganze Ring bestand aus 16 ringförmig ausgeschnittenen Kupferblechen, von denen die 8 ersten und 8 letzten dicht über einander lagen, diese aber von jenen durch einen 12 Millimeter weiten Zwischenraum geschieden waren. Die Dicke des ganzen Ringes mit Einschluss des Zwischenraumes betrug 34 Millimeter.

2. *Getriebe zur Drehung des Induktors.*

7 Umdrehungen der Kurbel entsprachen 40 Umdrehungen des Induktors.

3. *Geschwindigkeit der Drehung.*

Bei jedem Schlage des Sekundenzählers wurde die Kurbel entweder $^1/_2$ oder 1 Mal herumgedreht, so, dass auf jeden Schlag $^{20}/_7$ oder $^{40}/_7$ Umdrehungen des Induktors kamen. Der Sekundenzähler gab aber nicht genau Sekunden an, sondern 60 Schläge entsprachen 61,7 Sekunden, wornach also $\frac{600}{617} \cdot \frac{20}{7}$ oder $\frac{600}{617} \cdot \frac{40}{7}$ Umdrehungen des Induktors auf 1 Sekunde, folglich 166,7 oder 333,4 Umdrehungen auf 1 Minute kamen. Diese Drehung wurde gleichförmig etwa 10 Minuten lang fortgesetzt. Während dieser Zeit stand die Boussole fast ganz still und konnte sehr gut beobachtet werden. Die kleinen Schwingungen, die sie machte, betrugen nie über 1° (diese Ruhe der Nadel ist eine Wirkung des Kupferringes, der sie umgiebt, und nach den Gesetzen des Rotationsmagnetismus ihre Schwingungen kräftig dämpft). Während dieser Zeit wurde der Stand der Nadel 12 Mal beobachtet und aus diesen 12 Beobachtungen das Mittel genommen. Darauf wurde der Induktor umgekehrt gedreht und der Stand der Nadel wieder eben so beobachtet. Die Drehungsaxe des Induktors war bei allen Versuchen horizontal und dem magnetischen Meridiane parallel.

4. *Ablesungen der Boussole.*

*Bei 166,7 Umdrehungen des Induktors in 1 Minute.*

| | Drehung vorwärts | Drehung rückwärts |
|---|---|---|
| | 185° 5 | 174° 6 |
| | 185° 8 | 174° 3 |
| | 185° 5 | 174° 4 |
| | 185° 7 | 174° 2 |
| Stand | 185° 6 | 174° 5 |
| der | 185° 4 | 174° 0 |
| | 185° 6 | 174° 5 |
| Boussole | 185° 5 | 174° 3 |
| | 185° 4 | 174° 5 |
| | 185° 9 | 174° 2 |
| | 185° 7 | 174° 1 |
| | 185° 4 | 174° 2 |

Nimmt man aus allen diesen Beobachtungen das Mittel, so ergiebt sich für die Drehung vorwärts und rückwärts ein Unterschied

$$2v = 11^0\,26.$$

*Bei 333,4 Umdrehungen des Induktors in 1 Minute.*

| | Drehung vorwärts | Drehung rückwärts |
|---|---|---|
| Stand der Boussole | $190^0\,8$ | $168^0\,9$ |
| | $190^0\,6$ | $169^0\,4$ |
| | $190^0\,6$ | $169^0\,3$ |
| | $190^0\,9$ | $169^0\,0$ |
| | $190^0\,5$ | $169^0\,3$ |
| | $190^0\,8$ | $168^0\,9$ |
| | $190^0\,8$ | $169^0\,3$ |
| | $190^0\,4$ | $168^0\,8$ |
| | $190^0\,7$ | $169^0\,2$ |
| | $190^0\,4$ | $169^0\,2$ |
| | $190^0\,6$ | $169^0\,5$ |
| | $191^0\,0$ | $169^0\,1$ |

Nimmt man aus allen diesen Beobachtungen das Mittel, so ergiebt sich für die Drehung vorwärts und rückwärts ein Unterschied

$$2w = 21^0\,52.$$

Die Tangenten der einfachen Ausschläge $v$ und $w$ sollten der Umdrehungs-Geschwindigkeit proportional sein, d. i. die Tangente von $w$ doppelt so gross, als die Tangente von $v$, was auch nahe der Fall ist; denn

$$\text{tang}\, v = \text{tang}\;\; 5^0\,6\dot{3} = 0{,}09858$$
$$\text{tang}\, w = \text{tang}\, 10^0\,76 = 0{,}19003$$

den 3. Theil ihrer Summe kann man als den wahrscheinlichsten Werth der Tangente des Ausschlages bei 166,7 Umdrehungen in 1 Minute betrachten, d. i.

$$\text{tang}\, v = 0{,}09620.$$

Wenn nun in Göttingen die Neigung $i$ bekannt ist (sie beträgt ungefähr $67^0\,50'$); so ergiebt sich

$$a = \frac{\text{tang}\, i}{\text{tang}\, v} = \frac{\text{tang}\, 67^0\,50'}{0{,}0962} = 25{,}514.$$

Man findet daher die Neigung $i'$ an jedem anderen Orte oder zu jeder anderen Zeit, wenn man daselbst oder dann blos den Ausschlag $2v'$ bei gleich schneller Drehung des Induktors misst, nach der Gleichung

$$\text{tang}\, i' = 25{,}514 \,.\, \text{tang}\, v'.$$

Zum Schlusse dieses Aufsatzes mögen noch zwei Bemerkungen stehen, die zwar für den Hauptzweck des Instrumentes, mit dem wir uns beschäftigt haben, von keiner Wichtigkeit sind, aber in anderen Beziehungen Interesse haben, nämlich: 1. über die Bedeutung der Konstanten $a$; 2. über die Einrichtung und den Gebrauch des Instrumentes, wenn man mit ihm allein *absolute* Inklinations-Messungen machen will.

Was das *erstere* betrifft, die Bedeutung der Konstanten $a$, so ergiebt sich diese von selbst, wenn man die zwei Gleichungen mit einander vergleicht

$$\operatorname{tang} v = \frac{2n\pi^3 r}{\omega} \cdot \operatorname{tang} i$$

$$\operatorname{tang} i = a \,.\, \operatorname{tang} v,$$

woraus hervorgeht, dass

$$a = \frac{\omega}{2n\pi^3 r}$$

ist, wo $n$ und $r$ durch Zählung und Messung bekannt gewordene Grössen sind. Es geht daraus hervor, dass $a$ eine Konstante ist, welche von dem Widerstande $\omega$ abhängt, den der kupferne Induktor dem galvanischen Strome entgegensetzt. Diese Konstante kann also *a priori* berechnet werden, wenn der Widerstand des Kupfers für galvanische Ströme aus anderen Versuchen genau bekannt geworden ist. Umgekehrt kann man aber, wenn der Widerstand des Kupfers für galvanische Ströme nicht genau bekannt ist, mit unserem Instrumente, wenn man eine absolute Inklinations-Messung zu Hülfe nimmt, ihn sehr leicht finden. Diese Anwendung des Instrumentes zur Auffindung des Widerstandes des Kupfers gegen galvanische Ströme gewährt für die Lehre vom Galvanismus besonderes Interesse und wird in der Folge weiter untersucht werden.

Was das *letztere* betrifft, nämlich die Einrichtung und den Gebrauch des Instrumentes, wenn man mit ihm allein *absolute* Inklinations-Messungen machen will: so bemerke man, dass das Taf. V Fig. 3 abgebildete Instrument, mit welchem die eben beschriebenen Versuche gemacht worden sind, so eingerichtet ist, dass die Boussole aus der Mitte des Induktors herausgenommen, sodann der Induktor sammt dem ganzen Gestelle um $90^0$ gedreht werden kann, so dass die Drehungsaxe, welche bisher horizontal war, vertikal zu stehen kommt, und dass endlich dann die Boussole wieder auf denselben festen Zapfen so aufgestellt werden kann, dass sie wieder in der Mitte des Induktors sich befindet und in horizontaler Ebene sich frei drehen kann.

Dreht man jetzt den Induktor um eine vertikale Axe, so inducirt die horizontale erdmagnetische Kraft einen galvanischen Strom, eben so, wie früher, als der Induktor um eine horizontale Axe gedreht wurde, die vertikale erdmagnetische Kraft den Strom inducirte. Die beiden Ströme sind nun den inducirenden Kräften proportional, und die Tangenten der von ihnen hervorgebrachten Ablenkungen der Boussole sind den ablenkenden Kräften oder jenen beiden Strömen proportional. Daher giebt das Verhältniss der Tangenten beider Ablenkungen das Verhältniss der vertikalen und horizontalen erdmagnetischen Kraft oder die Tangente der gesuchten Inklination.

So einfach dieses Verfahren zu sein scheint, die Inklination absolut zu messen, so ist es doch keiner unmittelbaren Anwendung fähig, weil bei der Drehung des Induktors um eine vertikale Axe zwar durch die horizontale erdmagnetische Kraft ein galvanischer Strom inducirt wird, aber nicht durch sie allein, sondern zugleich auch durch die magnetische Kraft der Boussole (was bei der Drehung des Induktors um die horizontale Axe nicht der Fall war). Daher kommt es, dass bei Drehung des Induktors um eine vertikale Axe die Boussole mehr abgelenkt wird, als in Folge der horizontalen erdmagnetischen Kraft allein geschehen würde, und es ist nöthig, den Antheil, den an dieser Ablenkung die inducirende magnetische Kraft der Boussole selbst hat, von dem zu scheiden, welcher die Wirkung der horizontalen erdmagnetischen Kraft ist. Zu dieser Scheidung ist aber noch ein Versuch nothwendig, nämlich mit einer zweiten Boussole von ähnlicher Form, deren magnetische Kraft aber von der der ersten sehr verschieden ist und in einem bekannten Verhältnisse steht. Es leuchtet dann von selbst ein, wie sich der von der Boussole und der von der erdmagnetischen Kraft inducirte Strom scheiden und alsdann die absolute Inklination leicht berechnen lasse. Jedoch, muss man hinzufügen, verliert durch diese Komplikation der Versuche das Resultat an Schärfe, und die Methode den Vorzug der Einfachheit vor anderen Methoden, die Inklination zu messen, und es ist daher zu empfehlen, sich auf die zuerst beschriebene Anwendung des Instrumentes zu beschränken. Jedoch will ich zur Erläuterung der eben beschriebenen, mit unserem Instrumente auszuführenden absoluten Inklinations-Messung folgenden damit angestellten Versuch mittheilen. Ich wähle dazu denjenigen Versuch, welchen ein sehr geübter Beobachter, Herr D. Peters aus Kopenhagen, während seines hiesigen Aufenthaltes zu machen die Güte hatte. Auch die oben S. 82 und 83 angeführten Versuche sind von ihm gemacht worden. — Die Drehungsaxe des Induktors war bei den folgenden Versuchen immer vertikal. —

5. *Ablesungen der Boussole.*

*Bei 166,7 Umdrehungen des Induktors in 1 Minute.*

| | Drehung vorwärts | Drehung rückwärts |
|---|---|---|
| | 184° 4 | 175° 3 |
| | 184° 6 | 175° 5 |
| | 184° 3 | 175° 6 |
| Stand | 184° 5 | 175° 5 |
| der | 184° 4 | 175° 4 |
| | 184° 2 | 175° 2 |
| Boussole | 184° 4 | 175° 2 |
| | 184° 4 | 175° 5 |
| | 184° 3 | 175° 4 |
| | 184° 3 | 175° 6 |

Nimmt man aus allen diesen Beobachtungen das Mittel, so ergiebt sich für die Drehung vorwärts und rückwärts ein Unterschied

$$2u = 8^0 96$$

*Bei 333,4 Umdrehungen des Induktors in 1 Minute.*

| | Drehung vorwärts | Drehung rückwärts |
|---|---|---|
| Stand der Boussole | 188° 8 | 170° 7 |
| | 188° 5 | 171° 0 |
| | 188° 6 | 171° 1 |
| | 188° 7 | 170° 8 |
| | 188° 4 | 171° 0 |
| | 188° 6 | 171° 1 |
| | 188° 4 | 171° 0 |
| | 188° 7 | 170° 8 |
| | 188° 8 | 170° 9 |
| | 188° 5 | 170° 9 |
| | 188° 5 | |
| | 188° 4 | |

Nimmt man aus allen diesen Beobachtungen die Mittel, so ergiebt sich für die Drehung vorwärts und rückwärts ein Unterschied

$$2\omega = 17^0 65.$$

Bei diesen Versuchen sind 3 Drehungsmomente zu unterscheiden, welche auf die Boussole wirken:

1. das Drehungsmoment der erdmagnetischen Kraft, welches hier den Produkten

$$MT.\sin u, \; MT.\sin\omega$$

gleich ist, wenn $M$ den Nadelmagnetismus, $T$ den horizontalen Erdmagnetismus, $u$ und $\omega$ die Ablenkungen vom magnetischen Meridian bezeichnen;

2. das Drehungsmoment des von der erdmagnetischen Kraft inducirten Stromes, welches ausser dem Erd- und Nadelmagnetismus, der Zahl der Umdrehungen und dem Kosinus der Ablenkung $u$ oder $\omega$ proportional ist und kurz bezeichnet werden kann mit

$$aMT.\cos u, \; 2aMT.\cos\omega;$$

3. das Drehungsmoment des von der Boussole selbst inducirten Stromes, welches dem Quadrate des Nadelmagnetismus und der Zahl der Umdrehungen proportional, von der Grösse der Ablenkung $u$ oder $\omega$ aber unabhängig ist und kurz bezeichnet werden kann mit

$$\beta M^2, \; 2\beta M^2.$$

Das erste dieser Momente hält den beiden anderen das Gleichgewicht, oder es ist, mit Weglassung des gemeinschaftlichen Faktors $M$, nach dem *ersten* Versuche:

$$T.\sin u = aT.\cos u + \beta M$$

nach dem *zweiten* Versuche:

$$T.\sin\omega = 2aT.\cos\omega + 2\beta M.$$

Darauf wurde der Magnetismus der Boussole vermindert, und zwar so, dass die Boussole, deren Schwingungsdauer bisher $1^{\text{Sec.}}136$ gewesen, 3 Sekunden Schwingungsdauer erhielt; ihr Magnetismus war also in dem Verhältniss von $3^2 : 1{,}136^2$ vermindert worden und betrug folglich

$$\frac{1{,}136^2}{3^2} \cdot M = \frac{M}{6{,}974}.$$

Mit dieser schwachen Boussole wurde nun noch folgender Versuch gemacht:

6. *Ablesungen der Boussole.*

*Bei 333,4 Umdrehungen des Induktors in 1 Minute.*

| | Drehung vorwärts | Drehung rückwärts |
|---|---|---|
| Stand der Boussole | 185° 6 | 176° 2 |
| | 185° 8 | 175° 4 |
| | 186° 2 | 175° 4 |
| | 185° 8 | 175° 5 |
| | 185° 7 | 175° 5 |
| | 185° 8 | |

Nimmt man aus allen diesen Beobachtungen das Mittel, so ergiebt sich für die Drehung vorwärts und rückwärts ein Unterschied

$$2t = 10^0\,20.$$

Es ergiebt sich dann auf dieselbe Weise, wie vorher:

$$T.\sin t = 2aT.\cos t + 2\beta \cdot \frac{M}{6{,}974}$$

Diese Gleichung mit den beiden früheren einzeln verglichen giebt zwei Werthe von $a$, nämlich

$$a = {}^1/_2 \cdot \frac{2\sin u - 6{,}974\sin t}{\cos u - 6{,}974\cos t}$$

$$a = {}^1/_2 \cdot \frac{\sin\omega - 6{,}974\sin t}{\cos\omega - 6{,}974\cos t}$$

Setzt man darin für $t$, $u$, und $\omega$ die Werthe:

$$5^0\,10,\quad 4^0\,48,\quad 8^0\,825,$$

so hat man folgende zwei Werthe von $a$

$$a = 0{,}03897$$
$$a = 0{,}03915.$$

Da der letztere von diesen beiden Werthen mehr Wahrscheinlichkeit hat, als der erstere (weil er aus dem Winkel $\omega$ abgeleitet ist, während jener aus dem Winkel $u$; der Winkel $\omega$ aber, weil er fast

doppelt so gross wie $u$, genauer hat gemessen werden können), so kann man etwa

$$0{,}03909$$

als den wahrscheinlichsten Werth von $a$ betrachten. Bedenkt man nun, dass $a$ den Werth angiebt, welchen tang $u$ haben würde, wenn in unserem letzten Versuche blos die horizontale erdmagnetische Kraft einen galvanischen Strom inducirt hätte, und dass sich folglich

$$a : \operatorname{tang} v = T : T'$$

verhält: so ergiebt sich hieraus

$$\frac{T'}{T} = \operatorname{tang} i = \frac{\operatorname{tang} v}{a}.$$

Nun ist oben der Werth von

$$\operatorname{tang} v = 0{,}09620$$

und ebenso der Werth von

$$a = 0{,}03909$$

gefunden worden; woraus folgt

$$\operatorname{tang} i = \frac{\operatorname{tang} v}{a} = \frac{0{,}09620}{0{,}03909} = 2{,}461$$

$$i = 67^0\,53'\,10''.$$

Herr Professor Forbes aus Edinburgh, welcher im vergangenen Sommer Göttingen besuchte, hat hier am 1. Juli mit einem sehr genauen Instrumente die Inklination zwei Mal gemessen und das eine Mal $67^0\,47'\,0''$, das andere Mal $67^0\,53'\,30''$ gefunden. Vergleicht man diese Resultate mit demjenigen, was aus obigen am 8. November desselben Jahres vom Hrn. D. Peters mit dem Induktions-Inklinatorium gemachten Versuchen hervorgeht, so ergiebt sich (da die Aenderung der Inklination in den dazwischen verflossenen 3 Monaten gewiss sehr klein ist) wenigstens so viel, dass der Fehler der mit dem Induktions-Inklinatorium gemachten Messung nur einen kleinen Theil eines Grades betragen könne. Dabei ist noch zu bedenken, dass jener von Hrn. D. Peters angestellte Versuch, der gar nicht in der Absicht, die absolute Inklination genau zu erfahren, sondern blos zur Prüfung des Instrumentes angestellt wurde, nicht im Freien, wie die Versuche des Hrn. Prof. Forbes, sondern im physikalischen Kabinet, wo die benachbarten Gegenstände einigen Einfluss haben konnten, ausgeführt worden ist.

*W.*

Fig. 1.

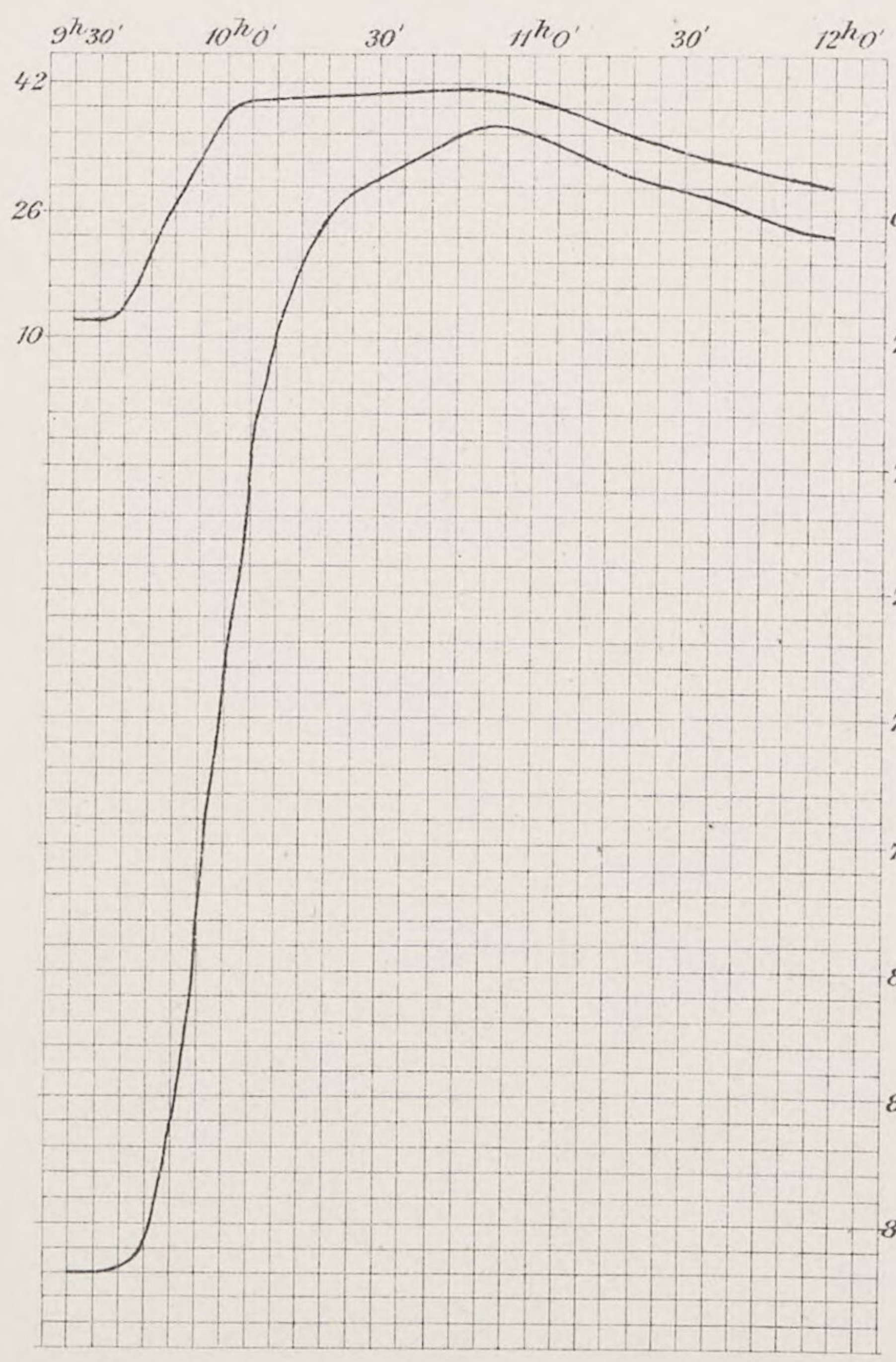



Fig. 2.

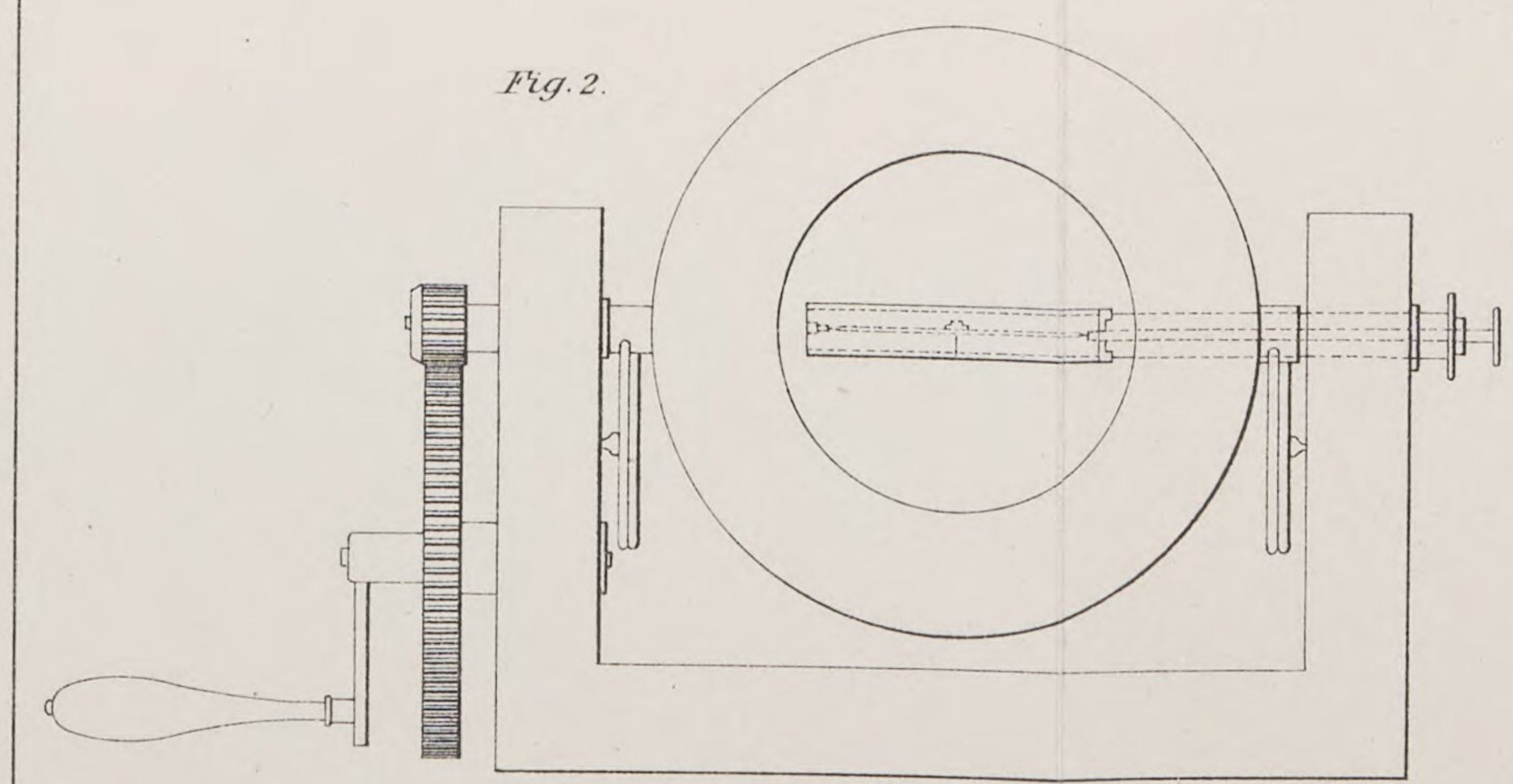
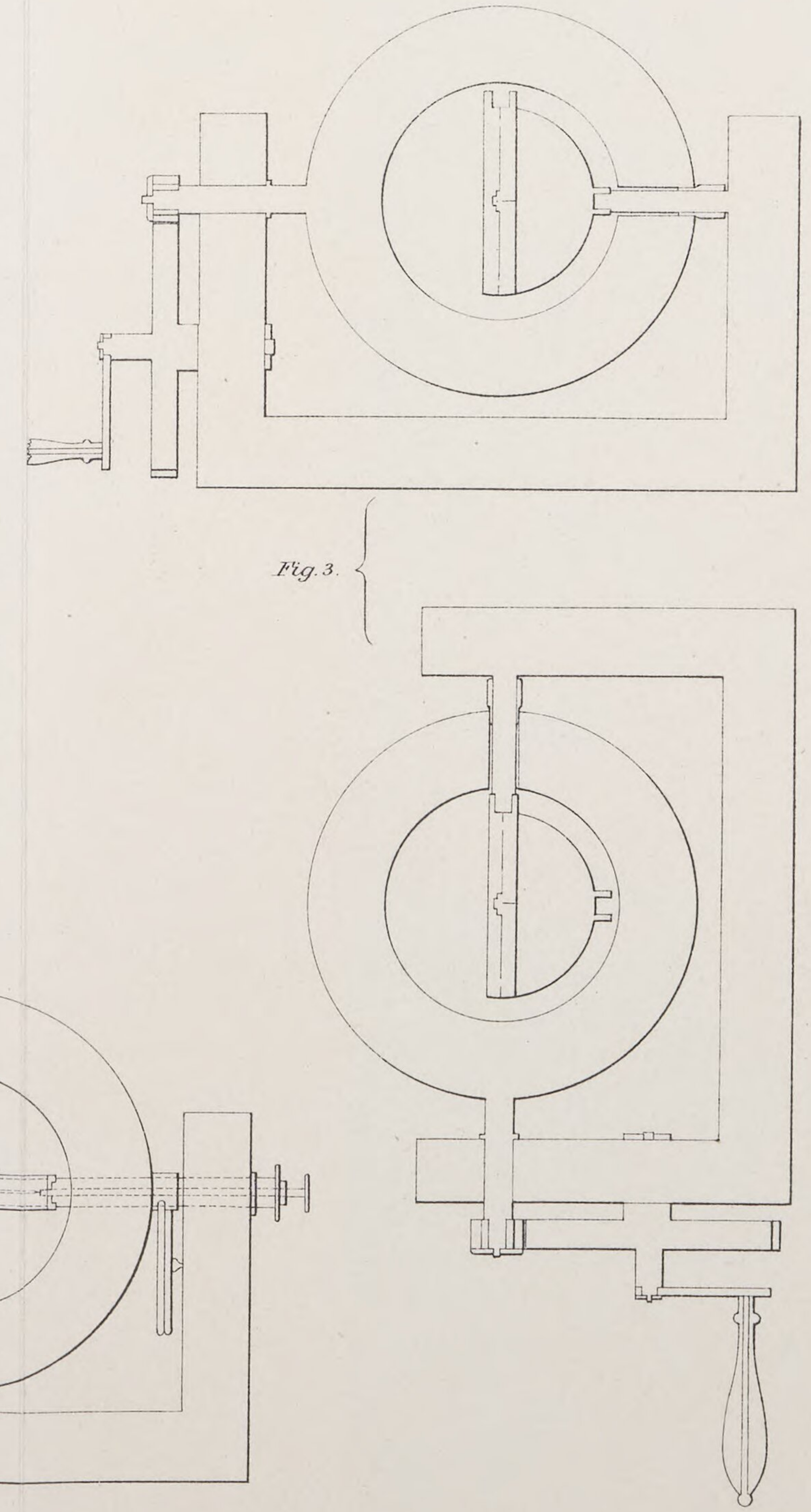


Fig. 3.



VI.

# Das transportable Magnetometer[1]).

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1838, III, S. 68—85.]

---

Im ersten Bande der Resultate für 1836 ist ein kleiner Apparat zur Messung des Erdmagnetismus nach absolutem Maass für Reisende beschrieben worden. Dieser Apparat war kein *Magnetometer;* vielmehr sollte er zur Erläuterung dienen, wie jene Messung, die bis dahin nur mit dem Magnetometer ausgeführt worden war, sich auch mit einer gewöhnlichen *Boussole* machen lasse. Es ist daselbst näher geprüft worden, was mit einem solchen kleinen Apparate erreicht werden könne, und wann er statt des Magnetometers gebraucht werden dürfe. Würde man nie durch Zeit und Mittel und durch andere äussere Verhältnisse beschränkt, so würde die Anwendung des Magnetometers stets den Vorzug verdienen; die Bestimmung jenes kleinen Apparates ist daher blos, in Nothfällen auszuhelfen, wo man am Gebrauch des Magnetometers gehindert wird. Es bleibt aber wünschenswerth, diese Nothfälle möglichst zu beschränken, und alles zu erproben, wodurch die Hindernisse beseitigt werden, welche bisher oft noch der Anwendung des Magnetometers entgegenstanden. Dies erscheint um so wünschenswerther, je mehr man den grossen Unterschied betrachtet, welcher in der Güte der Beobachtungen Statt findet, und dabei die Wichtigkeit bedenkt, welche jetzt diejenigen Beobachtungen, wozu bisher keine Magnetometer angewandt werden konnten, nämlich die auf weiten Reisen ausgeführten, gewinnen würden, wenn ihnen ein höherer Grad von Feinheit, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit, als bisher, verschafft werden könnte. Wäre der letzte Zweck dieser Beobachtungen blos der, magnetische Karten zu zeichnen, auf die aber keine weitere Untersuchung gebauet werden sollte, so würde der Grad der Genauigkeit, den diese Karten haben sollten, gewissermassen willkürlich festzusetzen sein, und man könnte sich mit dem begnügen, welcher ohne Magnetometer zu erreichen wäre. Sind aber jene Karten selbst nicht der letzte

---

[1]) [Hierzu Tafel VI, Fig. 1—5.]

Zweck, sondern soll auf sie wieder eine neue Untersuchung gegründet werden, sollen darin bestimmte Regeln und Gesetze erkannt, sollen die Karten zur Vergleichung der Erfahrung mit der allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus gebraucht und aus ihnen die *Elemente der Theorie* abgeleitet werden, so ist der Grad der Genauigkeit, den sie haben müssen, nicht mehr willkürlich, sondern lässt sich aus der Natur der Sache bestimmen. Ein *geringerer* Grad von Genauigkeit, wie ihn jene Karten jetzt besitzen, hat nun zwar zu einem ersten Versuche einer solchen Vergleichung gedient; einen *höheren* Grad von Genauigkeit müssen aber jene Karten erhalten, wenn sie es verdienen sollen, einer Verbesserungsrechnung zu Grunde gelegt zu werden. Diesen Grad der Genauigkeit ihnen zu verschaffen, ist jetzt der *Hauptzweck* der auf grösseren Reisen zu machenden magnetischen Beobachtungen, welcher diesen Reisen jetzt besondere Wichtigkeit giebt.

Je wichtiger aber jetzt, durch die Forderungen der Theorie, solche Reisen und die auf ihnen auszuführenden magnetischen Beobachtungen geworden sind, desto nöthiger ist es, zu erwägen, was von ihnen geleistet werden kann. Es könnten an weit entfernten Orten entweder gleichzeitig, oder bald nach einander, oder abwechselnd magnetische Beobachtungen gemacht werden, um den Fehler zu vermindern, welcher begangen wird, wenn man die Beobachtungen als gleichzeitig gelten lässt. Ferner könnten entweder auf allen Stationen, oder wenigstens auf den wichtigsten, die Beobachtungen einige Zeit lang, wenigstens eine oder mehrere Wochen, regelmässig fortgesetzt werden, um Mittelwerthe zu erhalten, welche von den gröbsten Anomalien befreiet sind. Die Hauptsache aber würde sein, solchen Expeditionen durch ihre Ausrüstung die Vortheile der neuen magnetischen Messungswerkzeuge, *der Magnetometer,* zu verschaffen. Dies würde am besten erreicht werden, wenn die Unternehmer solcher magnetischen Expeditionen sich mit dem ganzen magnetometrischen Messungsverfahren theoretisch und praktisch recht vertraut machten, und alle dabei in Betracht kommenden Vortheile und Kunstgriffe genau kennten und sich zu eigen machten. Sie würden dann selbst im Stande sein, die besten Vorkehrungen für die Reise zu ersinnen und zu treffen. Da es aber an wenigen Orten Gelegenheit zu solcher Vorbildung giebt, und Vielen nicht möglich sein wird, z. B. nur dasjenige kennen zu lernen, was für jenen Zweck in Göttingen, wo die Magnetometer zuerst und am gründlichsten erprobt worden sind, vorliegt, so wird es für sie nicht ohne Interesse sein, wenn hier Manches angedeutet wird, wovon sie Gebrauch machen können, wenn gleich dadurch die eigene Anschauung und selbsterworbene Uebung und Einsicht nicht ersetzt werden kann.

Es soll daher jetzt ein *transportables Magnetometer* beschrieben

werden, welches sich für magnetische Reisen und Expeditionen zu eignen scheint, weil es, mit kompendiöser Einrichtung und leichter Handhabung, alle den Magnetometern eigenthümliche Vorzüge verbindet, und den Magnetometern fester Observatorien nicht mehr nachsteht, als gute tragbare astronomische Instrumente den Instrumenten fester Sternwarten. Es sollen *zuerst* einige allgemeine Bemerkungen über dieses transportable Magnetometer vorausgeschickt werden; *sodann* soll eine Beschreibung der einzelnen Theile folgen; *endlich* einige Beobachtungen der Deklination und deren Variationen, welche gleichzeitig mit diesem Apparate und im Göttinger magnetischen Observatorium gemacht worden sind, sowie auch eine Messung der Intensität, probeweise beigefügt werden.

## 1. *Allgemeine Bemerkungen.*

Das transportable Magnetometer, wie es Fig. 1 in halber Grösse abgebildet worden ist, bedarf im Allgemeinen nur weniger Erläuterungen, weil es sich von anderen Magnetometern blos durch seine Kleinheit und kompendiösere Konstruktion wesentlich unterscheidet. Man kann damit alle die nämlichen Beobachtungen, wie mit einem grösseren Magnetometer, ausführen: man kann also damit die *absolute Deklination,* die *Deklinations-Variationen* und die *absolute horizontale Intensität* messen. Da es endlich auch, wie grössere Magnetometer, mit einem Multiplikator versehen ist, so können damit auch alle galvanischen Versuche, und sogar, wenn man einen kleinen Rotations-Induktor zu Hülfe nimmt und den Erdmagnetismus induciren lässt, die *absolute Inklinationsmessung* gemacht werden. Auch eine Einrichtung, die *Variationen der Intensität* zu beobachten, ist damit verbunden worden, indem das Magnetstäbchen, welches zu den Ablenkungsversuchen dient, nach Art eines Bifilarmagnetometers aufgehangen werden kann. Dieses kleine Instrument genügt also allen Bedürfnissen und Zwecken einer magnetischen Expedition. Die Genauigkeit, die man damit erreicht, übertrifft weit die, welche man bisher auf Reisen erreichte, und gewährt, im Verhältniss zur Grösse des Instrumentes, dieselbe Feinheit und Zuverlässigkeit, wie die grösseren Magnetometer.

Bei grösseren Magnetometern, wie im Göttinger magnetischen Observatorium, reicht die Zuverlässigkeit der Resultate fast so weit, wie die der unmittelbaren Ablesungen, welche bis zum 10. Theile eines Skalentheiles oder 2 Bogensekunden gehen. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Skale mindestens 5 Meter weit vom Spiegel des Magnetometers aufgestellt wird, weil sonst der Bogenwerth der Skalentheile (welche 1 Millimeter lang sind) grösser wäre. Auf Reisen würde es unpassend sein, aus so grosser Entfernung beobachten zu wollen, weil viel Zeit

verloren gehen würde, um alle Theile des Apparates in die richtige Lage zu bringen. Auf Reisen muss man die Entfernungen so beschränken, dass der ganze Apparat auf einem Tische Platz finden kann, also etwa auf 4 Mal kleinere Entfernungen. Statt eines 8zölligen Theodoliths, wie er zu grossen Magnetometern nöthig ist, wenn der Feinheit des Magnetometers volle Gerechtigkeit wiederfahren soll, kann man dann folglich auch einen viel kleineren, etwa 3 bis 4zölligen, Theodolith ohne Nachtheil gebrauchen und dadurch an Kosten ebenso viel ersparen, als man an Bequemlichkeit gewinnt, und doch kann dabei die Zuverlässigkeit bis etwa auf 10—20 Bogensekunden gebracht werden. Geht man in dieser Betrachtung weiter, so findet man auch, dass, diese Verkleinerung der Beobachtungsweite auf Reisen als nothwendig zugegeben, die Verkleinerung des Magnetometers (die man unter anderen Verhältnissen nicht gestatten würde) hier ohne allen Nachtheil selbst für die Feinheit der Beobachtungen ist. Denn bei einer 4 Mal geringeren Beobachtungsweite wird die Zuverlässigkeit der Ablesung, die man zu bewahren suchen muss, nicht afficirt, wenn auch das Verhältniss der magnetischen Kraft des Magnetometers zu den äusseren störenden Einwirkungen in demselben Verhältniss kleiner wird. Nun kann man unter sonst gleichen Verhältnissen annehmen, dass die magnetische Kraft dem Kubus der Lineardimensionen des Stabes, die äusseren störenden Einflüsse dem Quadrate proportional abnehmen, woraus sich ergiebt, dass der Magnetstab in unserem Fall, ohne die Zuverlässigkeit der Ablesungen (die bis auf den 10. Theil eines Skalentheiles reicht) zu vermindern, 4 Mal kleiner sein kann. Kann man mit dieser Verkleinerung übrigens Vorkehrungen verbinden, wodurch die äusseren störenden Einflüsse noch sorgfältiger abgehalten und ausgeschlossen werden, als es bei den grösseren Magnetometern bisher nöthig gefunden worden ist, so kann man in dieser Verkleinerung ohne wesentlichen Nachtheil sogar noch etwas weiter gehen, weil kein anderer Zweck vorliegt, als nur die Zuverlässigkeit der Ablesung zu bewahren. In der That ist der 600 Millimeter lange Stab auf einen 100 Millimeter langen reducirt worden, und die Beobachtung ergiebt, dass die Zuverlässigkeit der Ablesung noch unverändert ist, nur mit dem Unterschied, dass die abgelesenen Theile einen 4 Mal grösseren Bogenwerth als bei den grösseren Magnetometern haben, ein Skalentheil also 80 statt 20 Bogensekunden giebt.

Hieraus geht also hervor, wie den *magnetischen Expeditionen* durch eine zweckmässige Ausrüstung alle Vortheile der neuen magnetischen Messungswerkzeuge, *der Magnetometer*, verschafft werden können, wobei sich von selbst versteht, dass der höchste Grad von Präcision, den man in festen, wohl eingerichteten Observatorien zu erreichen vermag, auf

Reisen nicht verlangt wird und auch keinen Nutzen haben würde. Das beschriebene Instrument gewährt die genannten Vortheile zunächst bei der Messung der *absoluten Deklination* und deren *Variationen*.

Was aber zunächst von der *absoluten Deklination* und deren *Variationen* gilt, gilt in noch höherem Grade von der *absoluten Messung der horizontalen Intensität;* denn im ersten Bande der Resultate S. 88[1]) ist auseinander gesetzt worden, dass der Ablenkungsstab dem Magnetometer, wenn beide 6 Mal kleiner sind, einander 6 Mal näher gebracht werden könne, ohne dass die Vertheilung des freien Magnetismus in den Stäben mehr Rücksicht erfordert. Verkleinert man alsdann blos Länge und Breite und lässt die Dicke unverändert (die grossen Stäbe sind 600 mm lang, 36 mm breit und 9 mm dick, der kleine Ablenkungsstab ist 100 mm lang, 9 mm breit und dick), so ergiebt sich, dass man bei dem kleinen Magnetometer durch Vergrösserung der Angularablenkung gewinnen kann, was man durch Verkleinerung der Beobachtungsweite verliert. Kurz die *Ablenkungsversuche* gewähren eine Präcision, die nichts zu wünschen übrig lässt, und vollkommen harmonirt mit der auch bei den *Schwingungsversuchen* bekanntlich sehr leicht zu erreichenden Schärfe.

Es versteht sich übrigens von selbst, dass dieses kleine Magnetometer so eingerichtet werden könne und müsse, dass alle seine Theile ein fest verbundenes Ganze bilden, so, dass die relative Lage aller Theile von selbst sich nicht ändern kann, und dass es auf diese Weise verpackt, aufgestellt, wieder verpackt werden könne u. s. w. Dazu muss das Magnetometer in seinem Gehäuse auf ähnliche Weise, wie die gemeine Boussole, ausgelöst und festgestellt werden können, und dabei darf die Torsion des Fadens sich nicht ändern. Der Zutritt der Luft muss vollkommen abgeschlossen sein, auch vom Spiegel, den man durch ein dünnes Glimmerblättchen (wenn man kein eben und parallel geschliffenes Glas besitzt) beobachtet. Einen grossen Vortheil gewährt es, wenn das ganze Gehäuse aus Kupfer, und zwar aus starken Kupferplatten, gemacht wird, nicht allein der Festigkeit wegen, die das Instrument dadurch gewinnt, sondern insbesondere weil das Gehäuse als Schwingungsdämpfer des von ihm allseitig umschlossenen Magnetometers dient. Bei solcher kräftiger Dämpfung lassen sich alle Messungen viel geschwinder machen. Auch steht alsdann das Instrument sogar in freier Luft fest und sicher genug, dass es zwei Arme tragen kann, welche den Ablenkungsstab in abgemessenen gleichen östlichen und westlichen Abständen halten. Die richtige Stellung dieser Arme macht, dass alle sonst nöthigen Vorbereitungen der Ablenkungsversuche (um

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 41.]

die Messstangen horizontal und senkrecht gegen den magnetischen Meridian zu stellen und die korrespondirenden Punkte zu beiden Seiten des Magnetometers zu finden) erspart werden, und die Ausführung dieser Versuche dadurch sehr erleichtert und abgekürzt wird.

Die Grösse der Ablenkungen, welche man bei der absoluten Intensitätsmessung hervorbringen soll, würde erfordern, dass vorn am Gehäuse eine verhältnissmässig grosse Oeffnung angebracht würde, durch welche das Licht bei allen Lagen der Nadel von der Skale zum Spiegel und vom Spiegel zum Fernrohr gelangen könnte. Wenn gleich diese grosse Oeffnung an sich leicht anzubringen ist, so könnte doch alsdann der Multiplikator nicht mehr eine so günstige Lage erhalten. Das Instrument würde alsdann zu galvanischen Versuchen und zur *Messung der Inklination* weniger brauchbar sein. Darum schien es vortheilhaft zu sein, einen Spiegel, in der Art, wie beim Bifilarmagnetometer, dicht an der Drehungsaxe der Nadel, über dem Multiplikator, anzubringen, wodurch die Stellung des Multiplikators von der Stellung des Spiegels unabhängig gemacht wird, so gross auch die hervorzubringenden Ablenkungen sein mögen. Dieser Spiegel genügt dann freilich nicht mehr zur absoluten Deklinationsmessung, wozu ein Spiegel am *Ende* der Nadel angebracht und *fest* mit ihr verbunden werden muss, um den Kollimationsfehler, d. i. den Winkel der optischen Beobachtungslinie mit der magnetischen Axe der Nadel, zu messen. Zu dieser Messung muss nämlich die Nadel *umgelegt* werden, was im *verschlossenen* Kasten geschehen kann, indem man mit einem Schlüssel von aussen die Nadel im Innern um ihre Längenaxe halb herum dreht. Bei dieser Umlegung der Nadel darf aber die optische Beobachtungslinie ihre relative Lage zur Nadel nicht verändern, und daher muss der Spiegel, welcher hierbei gebraucht werden soll, mit der Nadel *fest* verbunden sein, und sich am *Ende* der Nadel befinden, damit er bei der Umdrehung der Nadel um ihre Längenaxe, nicht von der Stelle, worauf das Fernrohr gerichtet ist, verrückt werde. Statt einen zweiten Spiegel anzubringen, welcher zu diesem besonderen Zwecke diente, könnte man die kleine Endfläche der Nadel selbst eben schleifen und poliren; doch wird derselbe Zweck auf folgende Weise noch besser erreicht.

Das als Nadel dienende Magnetstäbchen wird nämlich seiner Länge nach durchbohrt und die nach dem Fernrohr gekehrte Oeffnung mit einer Linse versehen, in deren Brennpunkt am anderen Ende ein Fadenkreuz sich befindet. Dieses Fadenkreuz erblickt man im Fernrohr, wenn es (wie es bei der absoluten Deklinationsmessung zur Bestimmung des wahren Azimuths erfordert wird) auf ferne Objekte eingestellt, und dann auf jene Linse gerichtet wird. Diese Einrichtung ist von Airy vorgeschlagen worden, um den Spiegel entbehrlich zu machen, und um

mit demselben Fernrohr, ohne Verstellung des Okulars, die astronomischen, geodätischen und magnetischen Beobachtungen auszuführen, welche zu *absoluten* Deklinationsmessungen nöthig sind. Bei allen Beobachtungen, wo ein häufiger, kleinerer oder grösserer, *Wechsel* im Stande des Magnetometers vorkommt (z. B. bei allen zur absoluten Intensitätsmessung gehörigen Schwingungs- und Ablenkungsversuchen, so wie auch bei den Beobachtungen der Deklinations-Variationen) ist diese Einrichtung nicht anwendbar; gerade aber für den besonderen Fall, wo man zu jenen Beobachtungen einen Hülfsspiegel hat, scheint diese Einrichtung ganz gemacht zu sein, um da, wo jener Hülfsspiegel nicht genügt, auszuhelfen, nämlich die absolute Deklination für einen *einzelnen Augenblick* zu messen.

2. *Beschreibung einzelner Theile.*

Fig. 1 stellt den Vertikaldurchschnitt des Magnetometers nach der Richtung des magnetischen Meridians dar. Man sieht den kupfernen Kasten an drei Stellen durchbohrt. Die obere Oeffnung mündet sich in einen verschlossenen Raum, in welchem der Spiegel sich befindet, der nach dem Theodolithen zu mit einem Glimmerblättchen verschlossen ist, durch welches das Licht von der Skale in der in der Figur angegebenen Richtung auf den Spiegel und von da zurück zum Theodolithenfernrohr gelangen kann. Die beiden anderen Oeffnungen des kupfernen Kastens sind nahe in gleicher Höhe mit der Magnetnadel und mit dem Theodolithenfernrohr. Das durch eine derselben eindringende Licht beleuchtet das Fadenkreuz, was am hinteren Ende der röhrenförmigen Nadel aufgespannt ist, fällt von da auf die am vordern Ende der ihrer Länge nach durchbohrten Nadel eingesetzte Linse, und gelangt von da parallel in der in der Figur angegebenen horizontalen Richtung zum Theodolithenfernrohr, womit das Fadenkreuz beobachtet wird. Die der Länge nach durchbohrte Nadel ist genau cylindrisch und in einer cylindrischen Büchse von Messing eingeschlossen, welche unterhalb an beiden Enden kleine Vorsprünge darbietet, welche sich in zwei Gruben des kupfernen Kastens einlegen, wenn der Faden, woran die Nadel hängt, herabgelassen wird. Die messingene Büchse kann in dieser Lage festgestellt werden durch zwei Schrauben, welche durch die obere Wand des kupfernen Kastens geführt werden. Während die cylindrische Büchse so festgehalten wird, kann die cylindrische Nadel *erstens* aus jener Büchse herausgeschoben und durch die hintere Oeffnung aus dem Kasten herausgezogen werden, um einen Messingcylinder von derselben Form, wie die Nadel, in welchem ein schwacher Magnet eingeschlossen ist, an die Stelle der Nadel zu bringen, um die Torsion des Fadens zu prüfen; *zweitens* kann die Nadel in der Büchse durch Drehung um ihre

Längenaxe umgelegt werden mit Hülfe eines Schlüssels, welcher durch die hintere Oeffnung des Kastens eingebracht wird, um den Kollimationsfehler zu messen. Während der Beobachtungen werden die vordere und hintere Oeffnung des Kastens zur Abhaltung des Luftzuges mit Glimmerblättchen verschlossen.

Fig. 2 stellt verkleinert den vertikalen Durchschnitt des Magnetometers senkrecht gegen den magnetischen Meridian dar. Man erblickt hier den Querschnitt des Multiplikators, welcher den kupfernen Kasten umgiebt, und zu beiden Seiten die Arme, welche den Ablenkungsstab tragen. Der Ablenkungsstab wird gegen zwei an beiden Armen angebrachte vertikale Vorsprünge geschoben, die gleichweit von der Nadel abstehen und deren gegenseitiger Abstand 1 Meter beträgt, was genau durch einen 1 Meter langen Stab geprüft werden kann, der mitten durch den Kasten geschoben wird und beide Vorsprünge zugleich berühren soll. Kennt man die Länge des Ablenkungsstabes, so kann man daraus den Abstand seiner Mitte von der Nadel, welcher bekannt sein muss, genau bestimmen.

Fig. 3 stellt die Kiste dar, in welcher das Magnetometer zur Reise verpackt wird. Die Kiste wird benutzt, um darin den Ablenkungsstab zum Zweck der Schwingungsversuche aufzuhängen. Dieser Ablenkungsstab ist mit eben geschliffenen und polirten Endflächen versehen, so, dass man ihn aus der Ferne mit Fernrohr und Skale beobachten kann. Die Kiste hat eine kleine Oeffnung, welche mit einem Glimmerblättchen verschlossen werden kann, um dem Licht den Durchgang zu verstatten. Die Figur zeigt, wie dieser Stab in der Kiste aufgehangen und mit zwei cylindrischen Gewichten belastet ist, welche durch einen Seidenfaden verbunden sind, der bügelförmig über den Stab weggeht, um die Schwerpunkte beider Gewichte genau um die Länge des Stäbchens von einander entfernt zu halten. Diese Belastung dient zur Ermittelung des Trägheitsmoments.

Hierbei ist noch die Einrichtung getroffen, dass man die unifilare Aufhängung des Stabes in eine bifilare verwandeln kann, wenn man die Variationen der Intensität beobachten will. Die Kiste muss dann gegen den Theodolith und das Magnetometer so gestellt werden, wie Fig. 4 im Grundriss darstellt, so nämlich, dass nach der im zweiten Bande der Resultate für 1837 S. 22[1]) gegebenen Vorschrift die Linie, welche die Mitte des Stabes und die Mitte der Magnetometernadel verbindet, mit dem magnetischen Meridian einen Winkel von 35° 16′ einschliesst. Die Linie, welche die Mitte des Stabes und des Theodolithen verbindet, kann dabei auf den magnetischen Meridian senkrecht sein.

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 45.]

Dreht man dann das Theodolithenfernrohr genau um 90°, und richtet es auf die spiegelnde Endfläche des Stabes, so kann man das Bifilarmagnetometer richtig einstellen, indem man die beiden Fäden so lange dreht, bis man das Spiegelbild des Fernrohres selbst erblickt. Zur Beobachtung der Intensitätsvariationen muss dann ein Hülfsfernrohr nebst Skale aufgestellt werden, weil das Theodolithenfernrohr nebst Skale zur Beobachtung der Deklinationsvariationen dienen soll. In der Figur ist die Stellung jenes Hülfsfernrohres nebst Skale angedeutet worden, wobei nur zu bemerken ist, dass das Bifilarmagnetometer und das Fernrohr nebst Skale, womit es beobachtet wird, soviel höher als der Theodolith aufgestellt werden kann, dass das Licht frei hierüber weggeht. Auf diese Weise lassen sich auf der Reise die Beobachtungen der Deklinations- und Intensitätsvariationen bequem mit einander verbinden.

### 3. *Beispiele von Beobachtungen und Messungen.*

#### *Absolute Deklinationsmessung.*

Die absolute Deklinationsmessung zerfällt in drei Theile: 1. die Torsionsbestimmung, 2. die Azimuthalbestimmung der magnetischen Axe, 3. die Azimuthalbestimmung des wahren Nordens. Unter *Azimuth einer Richtung* werde hier der Winkel zwischen einer nach dieser Richtung und einer nach der Richtung der optischen Axe des Theodolithenfernrohres gelegten Vertikalebene verstanden, wenn die Alhidade auf den Nullpunkt des Kreises steht.

#### 1. *Torsionsbestimmung.*

Die Torsionsbestimmung zerfällt in die Messung der *Torsionskraft* und des *Torsionswinkels.*

#### *Torsionskraft.*

Zum Magnetometer gehören zwei Nadeln (die Magnetnadel und die Torsionsnadel), welche an demselben Faden aufgehängt werden können, und sich durch ihre magnetischen Momente ($M$, $m$) unterscheiden. Bezeichnet $T$ die horizontale erdmagnetische Kraft, so soll die Torsionskraft sowohl mit der Kraft $MT$ als auch mit der Kraft $mT$ verglichen werden.

#### *Vergleichung mit der Kraft MT.*

Zur Reduktion der Beobachtungen auf gleiche Zeiten wurde gleichzeitig die Deklination im magnetischen Observatorium beobachtet.

| Ablesung des Torsionskreises. | Beobachtung des Magnetometerstands an der Skale. | Beobachtung in *M. O.* | Halbmesser in Skalentheilen. | Reducirte Beobachtung. |
|---|---|---|---|---|
| 355° 6′ | 275,67 | 18° 29′ 49″ | 2174 | 275,67 |
| 175° 6′ | 237,06 | 18° 30′ 42″ | | 237,31 |

Hieraus ergiebt sich die Torsionskraft in Theilen von $MT$

$$= \frac{57,295\,..}{180} \cdot \frac{38,36}{2174} = \frac{1}{178}.$$

*Vergleichung mit der Kraft $mT$.*

| Ablesung des Torsionskreises. | Beobachtung des Magnetometerstandes an der Skale. | Unterschiede. | Mittel. | Halbmesser in Skalentheilen. |
|---|---|---|---|---|
| 269° 15′ | 270,77 | | | |
| 329° 54′ | 109,79 | 160,98 | | |
| 269° 15′ | 280,91 | 171,12 | 167,69 | 2243,5 |
| 329° 54′ | 112,18 | 168,73 | | |
| 269° 15′ | 282,12 | 169,94 | | |

Hieraus ergiebt sich die Torsionskraft in Theilen von $mT$

$$= \frac{57,295\,..}{60,65} \cdot \frac{167,69}{2243} = \frac{12,563}{178}$$

*Torsionswinkel.*

| | Beobachtung des Magnetometerstandes an der Skale. | Halbmesser in Skalentheilen. |
|---|---|---|
| Magnetnadel | 292,90 | 2174 |
| Torsionsnadel | 328,67 | |

Bezeichnet man die Abstände der beobachteten Skalentheile vom Nullpunkt der Torsion mit $x$ und $y$, so ist $x$ der gesuchte Torsionswinkel in Skalentheilen ausgedrückt, und man hat zur Bestimmung von $x$ folgende Gleichungen:

$$292,90 - x = 328,67 - y$$
$$12,563\, x = y$$

Hieraus ergiebt sich der Torsionswinkel in Skalentheilen:

$$x = 3,09,$$

oder in Bogensekunden:

$$\frac{3,09}{2174} \cdot 206265'' = 293''.$$

Aus dieser Bestimmung der Torsionskraft und des Torsionswinkels ergiebt sich die in der zu messenden Deklination der Torsion wegen anzubringende Korrektion

$$= \frac{1}{178} \cdot 293'' = 1''65.$$

Diese Korrektion ist so gering, dass sie ganz vernachlässigt werden kann, um so mehr, weil während der Deklinationsmessung die Deklination sich noch um ein Paar Skalentheile änderte, so, dass der Torsionswinkel für die Zeit dieser Messung fast ganz verschwand.

2. *Azimuthalbestimmung der magnetischen Axe.*

Zur Reduktion der Beobachtungen auf gleiche Zeiten wurde die Deklination gleichzeitig im magnetischen Observatorium beobachtet.

| | Zeit: 1839. April 11. | Azimuth der Kollimations-linie. | Beobachtung im *M. O.* | Reducirtes Azimuth. | Azimuth der magnetischen Axe. |
|---|---|---|---|---|---|
| Vor der Umlegung. | $11^h\ 0^m$ | 131° 22′ 43″ | 18° 26′ 26″ | 131° 20′ 0″ | 131° 41′ 29″ 5 |
| Nach der Umlegung. | $11^h\ 37^m 5$ | 132° 2′ 59″ | 18° 29′ 9″ | 132° 2′ 59″ | |

3. *Azimuthalbestimmung des wahren Nordens.*

Es wurden 3 sichtbare Objekte eingeschnitten, deren Lage gegen die Göttinger Sternwarte durch geodätische Messungen gegeben war.

| Bezeichnung der Objekte. | Abstand von der Sternwarte westlicher | südlicher | Beobachtetes Azimuth. | Azimuth des wahren Nordens. |
|---|---|---|---|---|
| Hohehagen | + 6060,00 | + 12447,70 | 33° 58′ 50″ | 150° 6′ 14″ |
| Gartenhaus | + 289,28 | — 27,54 | 315° 17′ 5″ | |
| Jakobithurm | — 710,70 | + 500,49 | 117° 15′ 15″ | |

Da keine Korrektion wegen der Torsion anzubringen ist, so ergiebt sich hieraus unmittelbar die *westliche Deklination,* wenn das Azimuth der magnetischen Axe vom Azimuth des wahren Nordens abgezogen wird:

$$150^0\,6'\,14'' - 131^0\,41'\,29''\,5 = 18^0\,24'\,44''\,5.$$

Dieses Resultat gilt für 1839 April 11. $11^h\ 37^m 5$. Gleichzeitig war die Deklination im magnetischen Observatorium beobachtet worden, nämlich:

$$18^0\,29'\,9'',$$

woraus sich ein Unterschied von $-4'\,24''\,5$ ergiebt, der wahrscheinlich nur zum Theil Fehler der Beobachtung, zum Theil Einfluss des kupfernen Kastens ist, welcher das Magnetometer umgiebt und nicht ganz frei von Eisen sein mag. Wiederholte Messungen und Vergleichungen mit den Beobachtungen im magnetischen Observatorium können dazu dienen, einen solchen Einfluss, wenn er vorhanden ist, zu ermitteln und bei künftigen Messungen zu berücksichtigen. Eine zweite Messung gab in der That ein ähnliches Resultat, nämlich:

| 1839 April 13. | im Freien | im magnet. Obs. |
|---|---|---|
| $10^h\ 31'$ | 18° 18′ 0″ | 18° 23′ 36″ |

woraus sich ein Unterschied von $-5'\,36''$ ergiebt. Im Mittel kann daher bei diesem Instrumente der Einfluss des Kastens $= -5'$ angenommen werden.

*Beobachtung der Deklinationsvariationen.*

Am 15. April 1839 wurden von $5^h\ 25^m$ bis $7^h\ 27^m 5$ abwechselnd am Magnetometer des Göttinger Observatoriums und an dem kleinen

Magnetometer die Deklinationsvariationen beobachtet. In der folgenden Tafel sind in den 4 ersten Kolumnen die unmittelbaren Beobachtungs-Resultate an beiden Apparaten neben einander gestellt, in der letzten Kolumne sind die Beobachtungen am kleinen Magnetometer, nach Verhältniss des Werthes der Skalentheile, reducirt worden. Zur Vergleichung mit den Beobachtungen am grossen Magnetometer sind Fig. 5 beide Reihen von Beobachtungen graphisch dargestellt worden. Man sieht aus diesem Beispiele, dass die Beobachtungen der Deklinationsvariationen auch mit einem transportabeln Magnetometer mit vieler Schärfe ausgeführt werden können.

| 1839. April 13. | Magnetisches Observatorium $A$. | 1839. April 13. | Transportables Magnetometer. Ablesung $x$. | Reducirter Werth $B = 895 + 3,25\,(x - 244,2)$. |
|---|---|---|---|---|
| $5^h\,25^m$ | 896,00 | $5^h\,27,5^m$ | 244,95 | 897,44 |
| 30 | 895,56 | 32,5 | 244,20 | 895,00 |
| 35 | 894,66 | 37,5 | 244,97 | 897,50 |
| 40 | 896,47 | 42,5 | 245,20 | 898,25 |
| 45 | 899,56 | 47,5 | 246,18 | 901,44 |
| 50 | 899,52 | 52,5 | 245,78 | 900,14 |
| 55 | 898,78 | 57,5 | 246,02 | 900,91 |
| $6^h$ 0 | 900,57 | $6^h$ 2,5 | 247,35 | 905,24 |
| 5 | 905,95 | 7,5 | 248,04 | 907,48 |
| 10 | 908,00 | 12,5 | 249,77 | 913,10 |
| 15 | 916,77 | 17,5 | 251,77 | 919,60 |
| 20 | 920,00 | 22,5 | 251,77 | 919,60 |
| 25 | 919,66 | 27,5 | 251,56 | 918,92 |
| 30 | 916,63 | 32,5 | 250,70 | 916,12 |
| 35 | 912,72 | 37,5 | 250,96 | 916,97 |
| 40 | 917,66 | 42,5 | 251,74 | 919,51 |
| 46 | 927,35 | 47,5 | 254,32 | 927,89 |
| $7^h$ 0 | 941,27 | $7^h$ 2,5 | 260,79 | 948,92 |
| 5 | 959,33 | 7,5 | 265,71 | 964,91 |
| 10 | 964,53 | 12,5 | 261,27 | 950,48 |
| 15 | 936,38 | 17,5 | 254,34 | 927,95 |
| 20 | 922,80 | 22,5 | 251,75 | 919,54 |
| 25 | 914,42 | 27,5 | 250,09 | 914,14 |

*Messung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maasse.*

Die Messung der Intensität des Erdmagnetismus zerfällt in vier Theile: 1. die Torsionsbestimmung, 2. die Bestimmung des Trägheitsmomentes des Ablenkungstabes, 3. die Ablenkungsversuche, 4. die Schwingungsversuche. Wir beschränken uns hier, Kürze halber, auf zwei Theile, nämlich auf die Bestimmung des Trägheitsmomentes und auf die Ablenkungsversuche, welche für die Kenntniss des Instrumentes besonders lehrreich sind. Die Torsionsbestimmung haben wir schon bei der Deklinationsmessung kennen gelernt, und die Schwingungsversuche sind so einfach und bekannt, dass es genügt, das Resultat derselben anzuführen.

1. *Bestimmung des Trägheitsmoments.*

Zur Bestimmung des Trägheitsmomentes des Ablenkungsstäbchens wird dasselbe an einem Faden oder Drahte aufgehangen. Darauf lässt man es schwingen 1. ohne Belastung, 2. mit einer Belastung, deren Trägheitsmoment bekannt ist.

Schwingungen ohne Belastung.

| Zählung der Schwingungen. | Zeit. | Schwingungsbogen. | Reducirte Schwingungsdauer. |
|---|---|---|---|
| 0. | $7^h\,20^m\,51^s27$ | $8^0\,56'$ | |
| 26. | 23 45 49 | $8^0\,40'$ | $6^s698$ |
| 61. | 27 39 92 | $8^0\,8'$ | 6 695 |
| 115. | 33 41 64 | $7^0\,22'$ | 6 696 |
| 151. | 37 42 80 | $6^0\,56'$ | 6 695 |
| 186. | 41 37 19 | $6^0\,32'$ | |

Schwingungen mit Belastung.

| Zählung der Schwingungen. | Zeit. | Schwingungsbogen. | Reducirte Schwingungsdauer |
|---|---|---|---|
| 0. | $2^h\,18^m\,35^s57$ | $8^0\,16'$ | $12^s058$ |
| 46. | 27 50 45 | $6^0\,58'$ | 12 039 |
| 125. | 43 41 76 | $5^0\,4'$ | 12 019 |
| 200. | 58 43 31 | $3^0\,20'$ | |

Hieraus ergiebt sich die Schwingungsdauer ohne Belastung im Mittel $= 6^{\text{sek}}696$, mit Belastung $= 12^{\text{sek}}039$. Zur Bestimmung des Trägheitsmomentes der Belastung ist gegeben 1. die Länge $l$ des Ablenkungsstäbchens, oder der Abstand der von den Enden des Stäbchens herabhängenden Fäden, welche zwei gleiche cylindrische Gewichte trugen, 2. die Masse $2p$, 3. der Halbmesser $r$ dieser beiden Cylinder, nämlich:

$$l = 93{,}42 \text{ mm},$$
$$2p = 50000{,}00 \text{ mg},$$
$$r = 4{,}60 \text{ mm}.$$

Wäre die Masse der Cylinder in ihrer Axe koncentrirt, so wäre ihr Trägheitsmoment

$$\tfrac{1}{2}\, l^2 p = 109091000.$$

Dreheten sich die Cylinder blos um ihre eigene Axe, so wäre ihr Trägheitsmoment

$$r^2 p = 529000.$$

Ihr Trägheitsmoment in obigen Versuchen ist der Summe

$$\tfrac{1}{2}\, l^2 p + r^2 p = 109620000$$

gleichzusetzen. Dies vorausgesetzt, ergiebt sich das Trägheitsmoment des schwingenden Stabes aus der Gleichung

$$MT = \frac{\pi^2 K}{t^2} = \frac{\pi^2 (K + K')}{t'^2},$$

wo $K'$ das bekannte, $K$ das gesuchte Trägheitsmoment, $t'$ die Schwingungsdauer mit, $t$ ohne Belastung bezeichnet, folglich:

$$K = 49103000.$$

Bei diesen Versuchen war die Nadel an einem Faden aufgehangen worden, dessen Torsionskraft verschwindend klein war. Dieselbe Reihe von Versuchen wurde wiederholt, indem die Nadel an einem Drahte von grosser Torsionskraft hing; das Resultat war fast dasselbe, wie vorher, nämlich:

$$K = 49044000.$$

Endlich wurde zur Kontrole das Ablenkungsstäbchen selbst gewogen, und seine Länge und sein Halbmesser genau gemessen.

Gewicht $p' = 66670$ mg
Länge $l =$ 93,42 mm
Halbmesser $r' =$ 5,45 „ ,

woraus sein Trägheitsmoment unter Voraussetzung vollkommener Homogeneität im Innern berechnet wurde, nämlich:

$$K = {}^1/_{12}\, l^2 p' + {}^1/_4\, r'^2 p' = 48982000.$$

Die Uebereinstimmung aller dieser Versuche beweist hinreichend, dass sich das Trägheitsmoment auch so kleiner Stäbe mit grosser Feinheit bestimmen lasse.

2. *Ablenkungsversuche.*

| 1839. Februar 13. Abstand in Millimetern. | Nordpol nach | Ablesungen | Doppelter Ausschlag in Skalentheilen. | | Doppelter Ausschlag nach dem Bogenwerth. |
|---|---|---|---|---|---|
| — 556,75 | O.<br>W.<br>O. | 372,95<br>132,33<br>373,78 | 240,62<br>241,45 | 241,03 | 5° 30′ 3 |
| — 453,25 | O.<br>W.<br>O. | 475,91<br>28,36<br>476,58 | 447,55<br>448,22 | 447,89 | 10° 9′ 3 |
| + 453,25 | O.<br>W.<br>O. | 480,04<br>31,83<br>480,27 | 448,21<br>448,44 | 448,32 | 10° 11′ 2 |
| + 556,75 | O.<br>W.<br>O. | 375,93<br>135,06<br>375,82 | 240,87<br>240,76 | 240,82 | 5° 30′ 0 |

Hieraus ergeben sich die einfachen Ablenkungen $v_0$, $v_1$ für die beiden Entfernungen $R_0$, $R_1$ (ohne Rücksicht auf das Vorzeichen)

$$v_0 = 2^0\,45'\,4''\,5 \text{ für } R_0 = 556{,}75$$
$$v_1 = 5^0\;\;5'\,7''\,5 \text{ für } R_1 = 453{,}25,$$

folglich, wenn tang $v$ nach Potenzen von $R$ entwickelt wird,

$$\operatorname{tang} v = 8305800\, R^{-3} - 4081300000\, R^{-5}$$

woraus (siehe Intensitas Art. 21, 22)

$$\frac{M}{T} = 4152900.$$

Bei dem verhältnissmässig grossen Abstande des Ablenkungsstabes von der Nadel (gleich der 5. bis 6fachen Länge des Stabes oder der Nadel) ist aber die Bestimmung des Koefficienten des zweiten Gliedes dieser Gleichung, welcher mit der 5. Potenz des Abstandes zu dividiren ist, unsicher, und man thut daher besser, dieses Glied unberücksichtigt zu lassen. Alsdann erhält man für $\frac{M}{T}$ zwei Werthe, aus denen das Mittel genommen werden kann:

$$R_0^3 \operatorname{tang} v_0 = 4146600$$
$$R_1^3 \operatorname{tang} v_1 = 4143200,$$

folglich

$$\frac{M}{T} = 4144900,$$

was sich übrigens von obigem Werthe wenig unterscheidet.

Fügt man zu den erhaltenen Resultaten endlich noch die Schwingungsdauer $t$ hinzu, welche

$$t = 60^{\text{sek}}\, 586$$ [1])

gefunden worden ist, so findet man, $K = 49073500$ gesetzt,

$$MT = \frac{\pi^2 K}{t^2} = 13195000,$$

folglich

$$T = 1{,}7842.$$

Dieses Resultat kann keiner weiteren Prüfung und Vergleichung unterworfen werden, weil es dazu an einer gleichzeitigen Messung mit einem grossem Magnetometer fehlt, die sich zu jener Zeit nicht ausführen liess. Sobald aber eine neue Messung des Erdmagnetismus im hiesigen magnetischen Observatorium vorgenommen werden wird, soll die Gelegenheit zu einer solchen Prüfung und Vergleichung benutzt werden.

Der Preis des obigen Instrumentes, wie es von Herrn Mechanikus Meyerstein in Göttingen ausgeführt worden ist, beträgt ohne Theodolith 50 Thlr., der Theodolith dazu (ohne Stahl und Eisen konstruirt) ohne Höhenkreis 50 Thlr., mit Höhenkreis 67 Thlr., mit Glaszapfen

---

1) Das Stäbchen war zu den Schwingungs- und Ablenkungsversuchen neu magnetisirt worden, und hat dadurch eine kürzere Schwingungsdauer erhalten, als es bei obigen Versuchen über das Trägheitsmoment besass.

(die Herrn Meyerstein eben so rund zu drehen gelungen sind, wie Stahlzapfen: das Glas verdient dann den Vorzug nicht allein, wie Kupfer oder Messing, vor Stahl oder Eisen, wegen der zu vermeidenden Gefahr magnetischer Einwirkung bei Näherung des Theodoliths an das Magnetometer, sondern auch vor Kupfer oder Messing selbst, wegen der zu vermeidenden Reibung der Zapfen) 80 Thlr., endlich ein Induktor dazu für die absolute Inklinationsmessung (über welchen künftig weiter berichtet werden wird) 30 Thlr. Zur vollständigen Ausrüstung einer magnetischen Expedition würde auch ein Chronometer zu rechnen sein, welches aber nicht besonders erwähnt zu werden braucht, weil es, abgesehen von den magnetischen Beobachtungen, bei einer solchen Expedition auch für andere Zwecke nothwendig erfordert wird.

*W.*

VII.

# Der Induktor zum Magnetometer.[1])

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1838, IV, S. 86—101.]

---

Der von Oersted und Faraday entdeckte *Zusammenhang* zwischen Magnetismus und Galvanismus öffnet, ausser der Aussicht auf ein höheres wissenschaftliches Ziel, den Weg zu mannigfachen *Anwendungen*, sowohl solchen, die von magnetischen Untersuchungen auf *galvanische*, als auch solchen, die von galvanischen auf *magnetische* gemacht werden können. Beide bilden Gegenstände dieser Schrift. Von den *letztern* Anwendungen, nämlich galvanischer Untersuchungen auf *magnetische*, ist schon mehrfach gehandelt und deren Wichtigkeit für die Ausführung der magnetischen Beobachtungen sowohl, als auch für die allgemeine Theorie bewiesen worden. Siehe Resultate für 1837, S. 18, 71, 81 und in diesem Bande S. 49 bis 57.[2]) Es bleiben die *ersteren* Anwendungen übrig, nämlich von magnetischen auf *galvanische*, von denen bisher nur gelegentlich die Rede gewesen ist. Dazu wird es nöthig, auf die galvanischen Untersuchungen selbst genauer einzugehen, insbesondere manche galvanische *Hülfsmittel und Instrumente* näher zu betrachten und zu prüfen; doch reichen davon wenige schon in Verbindung mit den gegebenen *magnetischen Instrumenten* zu vielen Anwendungen hin, auf die wir uns daher zunächst beschränken.

Mit dem *Magnetometer* kann man nicht blos die auf die Magnetnadel wirkende erdmagnetische Kraft, sondern überhaupt alle magnetischen und auch *galvanischen* Kräfte messen, welche man darauf wirken lässt, und dadurch sehr genaue Vergleichungen solcher Kräfte unter einander, insbesondere galvanischer Kräfte mit bekannten magnetischen, gewinnen. Um aber galvanische Kräfte auf die Magnetnadel wirken zu lassen, bedarf man bekanntlich nur eines Drahtes, um die Ströme,

---

[1]) [Hierzu Tafel VI, Fig. 6 und 7.]

[2]) [Gauss' Werke, Bd. V, p. 372, 386, 168—175. Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 75.]

von denen jene Kräfte herrühren, um die Magnetnadel herumzuführen, was durch den *Multiplikatordraht* geschieht. Von den *Multiplikatoren*, mit welchen die Magnetometer versehen werden können, ist mehrfach schon die Rede gewesen, besonders wegen des Nutzens, den sie auch bei mehreren magnetischen Beobachtungen (zur schnellen Beruhigung der Nadel) gewähren. Brauchen wir daher weder bei der Betrachtung des Magnetometers selbst, noch seines Multiplikators zu verweilen, so können wir sogleich zur Betrachtung des einzigen Gegenstandes übergehen, welcher ausserdem nothwendig ist, nämlich der *Quelle*, aus der wir die galvanischen Ströme her- und zum Multiplikator hinleiten. Bekanntlich hat man in der neuesten Zeit mehrere Quellen zur Auswahl gewonnen. Im Allgemeinen werden wir auf keine derselben ganz verzichten, im Gegentheil alle nach und nach in den Kreis der Untersuchung ziehen; jedoch ist es angemessen, anfangs blos eine dieser Quellen näher ins Auge zu fassen, und zu versuchen, sie nach unseren Zwecken zu leiten und zu benutzen. Diese Quelle ist diejenige, welche Faraday entdeckt hat, welche aus dem Magnetismus entspringt, und darum schon den Vorzug verdient, weil durch sie kein ganz fremdes Element in unsere auf den Magnetismus bisher allein beschränkten Betrachtungen eingeführt wird. Abgesehen aber hiervon, rechtfertigt sich diese Wahl zu Anfang auch aus praktischen Gründen, weil diese Quelle am wenigsten wandelbar ist, und weil wir sie ohne Vorbereitung und Nachhülfe immer nach Belieben leiten und beherrschen können. Die Bewegung des freien Magnetismus gegen galvanische Leiter ist diese Quelle, welche Faraday mit dem Namen der *Induktion* bezeichnet hat. An mehreren anderen Orten, und auch in dieser Schrift, bei Gelegenheit des Bifilarmagnetometers und des vielseitigen Gebrauchs, den es gestattet, ist von dieser Quelle der galvanischen Ströme gehandelt worden. Herr Hofrath Gauss hat einen *Induktor* angegeben, welcher zu mannigfachen galvanischen Versuchen, vorzugsweise aber zur Quelle des Galvanismus bei *galvanischen Versuchen mit dem Magnetometer* bestimmt ist. Dieser Induktor soll hier näher betrachtet und von den Regeln seiner Konstruktion und seines Gebrauchs Rechenschaft gegeben werden. Dabei wird zur Grundlage dienen, was Herr Hofrath Gauss in Schumacher's Jahrbuche für 1836 über das Wesen der *Induktion* und des von ihm für das Magnetometer konstruirten *Induktors* gesagt hat.

Schumacher's Jahrbuch für 1836, S. 39 bis 43:

„Die Entdeckungen Oersted's und Faraday's haben in der Naturwissenschaft Epoche gemacht; sie sind auf das engste mit einander verbunden, ja die eine ist, wie an einem anderen Orte näher nachgewiesen werden soll, als das vollkommene Seitenstück der anderen zu betrachten. Oersted entdeckte die Einwirkung eines schon bestehenden galvanischen

Stroms auf die magnetischen Stoffe; Faraday fand, dass, indem die magnetischen Stoffe sich neben einem zur Leitung eines galvanischen Stromes fähigen Körper bewegen, in diesem ein solcher Strom hervorgebracht wird, der aber nur so lange dauert, wie eben jene Bewegung der magnetischen Stoffe. Ohne in die genaueren Bedingungen hier einzugehen, wollen wir nur bemerken, dass gleiche Bewegungen der beiden entgegengesetzten magnetischen Flüssigkeiten entgegengesetzte galvanische Ströme erzeugen, also ihre Wirkungen sich selbst neutralisiren, wenn jene gleichzeitig sind. Daher bringt die Bewegung eines Trägers der magnetischen Flüssigkeiten, in welchem sie noch nicht geschieden sind, des Eisens oder des nicht magnetisirten Stahls, keinen galvanischen Strom im benachbarten Metall hervor, wohl aber der Akt der Scheidung selbst, wenn z. B. weiches Eisen durch plötzliches Anfügen an die Pole eines Hufeisenmagnets, oder durch irgend ein anderes Mittel plötzlich magnetisch gemacht wird; und eben so muss wieder das plötzliche Abreissen, nach welchem die im Eisen getrennt gewesenen magnetischen Flüssigkeiten sich wieder vereinigen, einen galvanischen Strom von der der vorigen entgegengesetzten Richtung hervorbringen. Die auf diese Weise erzeugten galvanischen Ströme sind (wie der Akt der Scheidung oder Wiedervereinigung der magnetischen Flüssigkeiten selbst) von äusserst kurzer Dauer, aber, wenn man die übrigen Umstände zweckmässig anordnet, von grosser Intensität, so dass man dadurch Funken und andere mit starken galvanischen Strömen verbundene Erscheinungen hervorgebracht hat, welche das Erstaunen der Liebhaber der Physik erregen. Eine andere Art, den magnetischen Flüssigkeiten ungleiche Bewegungen zu ertheilen (was immer die Bedingung dieser Stromerregungsart bleibt), besteht aber darin, dass man solche Träger derselben, in welchen sie schon geschieden sind (einen Magnetstab, oder eine Verbindung mehrerer), entweder selbst auf eine zweckmässige Art relativ gegen einen nahen Leiter bewegt, oder auch, was in der Wirkung ganz einerlei ist, jene Träger ruhen lässt, und den Leiter, der den Strom empfangen soll, bewegt."

„Wesentlich sind diese beiden Arten von Stromerregung (Induktion) gar nicht verschieden; die zweite ist aber allein brauchbar für solche Versuche, bei welchen es um genaue Kenntniss der Grössenverhältnisse zu thun ist. Man kann sich dazu eines sehr einfachen Mittels bedienen."

„Eben so wie man zur Verstärkung des von Oersted entdeckten Einflusses des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel einen zu zahlreichen Windungen geformten Leitungsdraht (Multiplikator) anwendet, verstärkt man den Strom, welchen die relative Ortsveränderung des den Strom empfangenden Drahts gegen den Magnet erzeugt, dadurch,

dass viele Theile des Drahtes auf gleiche Weise afficirt werden. Eine dazu dienende Vorrichtung kann man einen Induktions-Multiplikator, oder schlechthin einen Induktor nennen. Ein solcher bei dem Apparat der Göttinger Sternwarte gebrauchter Induktor (welchen Fig. 6 darstellt) besteht in einer cylindrischen Rolle, im Lichten beinahe vier Zoll weit, um deren äussere Fläche ein mit Seide übersponnener Kupferdraht 3537 mal (in einer Länge von 3600 Fuss) gewunden ist, dessen Enden mit der Kette in Verbindung gebracht sind[1]). Zwei starke Magnetstäbe, jeder von 25 Pfund, sind zu einem kräftigen Magnet verbunden. Das blosse Aufschieben der Rolle auf diesen Magnet bis zu dessen Mitte bewirkt in dem Draht und der ganzen damit verbundenen Kette, mithin auch in den verschiedenen Multiplikatoren, welche Theile davon ausmachen, einen kräftigen galvanischen Strom, welcher also entsprechende Bewegungen in denjenigen Magnetnadeln hervorbringt, welche sich in den betreffenden Multiplikatoren befinden, und dessen Stärke durch die Magnetometer scharf gemessen wird. Der Strom dauert immer nur so lange, wie die Bewegung der Induktionsrolle. Das Wiederabziehen, und eben so das verkehrte Wiederaufschieben, bewirkt einen dem vorigen entgegengesetzten Strom; vermittelst der in der Kette befindlichen Kommutatoren hat man in seiner Gewalt, dem Strom in den Multiplikatoren jedesmal eine beliebige Richtung zu geben. Es ist hierbei ein höchst wichtiger Umstand, dass, obgleich die Stärke des Stromes von der Geschwindigkeit der Bewegung der Rolle abhängt, dennoch (weil die *Dauer* desto kürzer ist, je schneller man mit der Operation zu Ende kommt) die Gesammtwirkung auf die Bewegung der Magnetnadeln in den Multiplikatoren von der Schnelligkeit der Bewegung fast ganz unabhängig bleibt, in so fern diese in einer oder ein paar Sekunden vollendet wird. Beim Gebrauch lässt man gewöhnlich auf ein Abziehen der Induktionsrolle ein verkehrtes Wiederaufschieben unmittelbar folgen, was zusammen ein *Wechsel* heissen hann. Die Wirkung eines solchen Wechsels, auch wenn der Strom durch die ganze jetzt 15 000 Fuss lange Kette getrieben wird, ist so stark, dass die betreffenden Magnetnadeln Bewegungen dadurch erhalten, die viele hundert Skalentheile betragen. Man kann aber in kurzer Zeit sehr viele solche Wechsel eintreten lassen, die vermöge entsprechenden Spiels des Kommutators alle einander verstärken, und die Magnetnadeln der Magnetometer in so grosse Bewegungen, wie man will, versetzen. Die Erfahrung zeigt bei solchen Versuchen eine Uebereinstimmung in den quantitativen Verhältnissen, die nichts zu wünschen übrig lässt, und die Erforschung der Gesetze

---

[1]) Später ist die Länge des Induktordrahts, sowie der übrigen Kette, mehr als verdoppelt worden. Resultate von 1837, S. 12, 16. [Gauss' Werke, Bd. V, p. 367, 370.]

dieser so höchst interessanten Naturphänomene eben so befestigt als erleichtert hat."

„Diese Gesetze, zu deren Entwickelung hier nicht der Ort ist, bestätigen sich überall so vollkommen, dass man den Erfolg von Versuchen, sobald man die Umstände, von welchen sie abhängen, nach ihren Grössenverhältnissen kennt, so sicher im Voraus bestimmen kann, wie die Erscheinungen am Sternenhimmel."

*Bemerkungen.*

Die *erste* und wichtigste Forderung, welche bei genauen Messungen erfüllt werden muss, ist die, dass jede mehrmals gemacht werden könne, immer unter gleichen Verhältnissen, so, dass die Resultate bis auf die kleinen unvermeidlichen Beobachtungsfehler übereinstimmen. Zur genauen Untersuchung der Gesetze des Galvanismus ist es also nöthig, dass man genau denselben galvanischen Strom mehrmals hervorbringen kann, um seine Wirkung mehrmals zu messen. *Sodann* müssen die Ströme stark genug sein, um genau gemessen werden zu können, und es ist wichtig, solche starke Ströme mit mässigen Mitteln darzustellen; darum muss man mit mässigen Mitteln einen möglichst starken Strom hervor zu bringen suchen. *Endlich* soll man verschiedene unter einander *genau* vergleichbare Ströme von einer wenigstens *näherungsweise* voraus zu bestimmenden absoluten Stärke hervorbringen können. Diese *drei* Forderungen werden alle durch den Gauss'schen Induktor erfüllt, was einen ihm eigenthümlichen Vorzug begründet.

1. Was die Forderung betrifft, genau denselben Strom mehrmals hervor zu bringen, so scheint beim ersten Anblick die Erfüllung davon durch inducirte Ströme sehr schwer zu sein; denn es ist bekannt, dass die Stärke eines inducirten Stromes von der Geschwindigkeit der Induktorbewegung abhängt; es würde aber sehr schwer sein, Mittel zu finden, genau mit derselben Geschwindigkeit den Induktor mehrmals zu bewegen. Man darf aber nicht die *Stärke* des Stromes mit der uns *messbaren Wirkung* des Stromes verwechseln. Herr Hofrath Gauss sagt in der oben angeführten Stelle: „es ist ein höchst wichtiger Umstand, dass, obgleich die Stärke des Stromes von der Geschwindigkeit der Bewegung der Rolle abhängt, dennoch (weil die *Dauer* desto kürzer ist, je schneller man mit der Operation zu Ende kommt) *die Gesammtwirkung* auf die Bewegung der Magnetnadeln in den Multiplikatoren von der Schnelligkeit der Bewegung fast ganz unabhängig bleibt, in so fern diese in einer oder in ein Paar Sekunden vollendet wird." Nur auf diese *Gesammtwirkung* beziehen sich alle Messungen, die wir machen, und kann genau dieselbe Gesammtwirkung mehrmals hervorgebracht

werden, so können auch die nämlichen Messungen wiederholt werden. Diese Gesammtwirkung hängt aber weniger davon ab, *wie schnell*, als davon, *wie gross* die Bewegung der Induktorrolle ist.

Alle Messungen werden mit dem Magnetometer gemacht, dessen Magnetstab von einem Multiplikator umgeben ist, durch welchen der galvanische Strom geht. Die Gesammtwirkung des inducirten Stromes, welche durch Messung gefunden und bestimmt werden kann, besteht in der *messbaren Ablenkung* des Magnetstabes von seiner natürlichen Lage. Diese messbare Ablenkung hängt nun theils von der *Stärke* und *Dauer* des galvanischen Stromes ab, welcher durch den Multiplikator geht, theils aber 1. von der Lage des Magnetstabes zum Multiplikator, welche sich mit der Ablenkung zugleich ändert, 2. von der vorhandenen Bewegung des Magnetstabes, 3. von der entstehenden Bewegung des Magnetstabes durch Kräfte, welche mit der galvanischen Kraft zugleich auf ihn wirken. *Die Kunst der Beobachtung* giebt Regeln an die Hand, die Messungen so anzuordnen und auszuführen, dass die Resultate von den drei letzten Einflüssen unabhängig werden. Diese Regeln werden weiter unten näher bezeichnet werden. Alsdann bleibt die Abhängigkeit der messbaren Gesammtwirkung blos von der *Stärke* und *Dauer* des Stromes übrig.

In jedem *Elemente* des Weges, durch welchen die Induktorrolle geführt wird, ist die *Stärke* des Stromes der Geschwindigkeit *direkt* proportional, die *Dauer* des Stromes dagegen ist der Geschwindigkeit umgekehrt proportional; folglich ist die Gesammtwirkung des auf diesem Wegelemente inducirten Stromes (welche der Stärke sowohl als auch der Dauer des Stromes proportional ist) wie das *Produkt von beiden* von der Geschwindigkeit ganz unabhängig. Was nun von der Gesammtwirkung des auf jedem *Wegelemente* inducirten Stromes gilt, gilt auch von der Gesammtwirkung des auf dem ganzen Wege inducirten Stromes, wenn durch die *Beobachtungskunst*, wie oben gesagt wurde, aller Einfluss, den die Verschiedenheit der Lage des Magnetstabes gegen den Multiplikator haben kann, so wie der von den aus anderen Ursachen herrührenden Bewegungen des Magnetstabes ausgeschlossen worden ist. Die Gesammtwirkung des auf dem ganzen Wege inducirten Stromes hängt daher zwar von der Länge und Begrenzung dieses Wegs, durch welchen die Induktorrolle geführt wird, nicht aber von der Geschwindigkeit, mit welcher sie diesen Weg durchläuft, ab.

Man kann also immer genau denselben Strom induciren, wenn man den Induktor immer genau zwischen *denselben Grenzen* bewegt, und es ist fast gleichgültig, ob man ihn schnell oder langsam von einer Stelle zur anderen versetzt. Die genaue Erfüllung der *ersten* Forderung, dass derselbe Strom mehrmals hervorgebracht werden könne, hängt also haupt-

sächlich davon ab, dass die *Grenzen,* innerhalb deren die Induktorrolle bewegt wird, recht scharf bestimmt sind und immer die nämlichen bleiben, was in der That leicht zu erreichen ist.

Ungeachtet man aber leicht Mittel findet, die Grenzen der Induktionsbewegung, von denen die Gesammtwirkung des Stromes abhängt, unwandelbar festzusetzen; so ist es doch besser, darauf allein nicht zu bauen, sondern die Grenzen der Induktionsbewegung so zu wählen, dass, wenn auch eine kleine Verrückung Statt fände, sie doch keinen merklichen Einfluss hätte. Dies wird beim Gauss'schen Induktor dadurch erreicht, dass die Grenze der Induktionsbewegung dahin gelegt wird, wo die Induktion Null ist, d. i. da, wo der freie Süd- und Nordmagnetismus gleich stark induciren, nämlich in die Mitte des Magnetstabes, der zum Induciren dient. Eine geringe Verrückung der Induktorrolle, wenn sie die Mitte eines symmetrisch magnetisirten Stabes umgiebt, hat keine Wirkung.

Wollte man Hufeisenmagnete zum Induciren gebrauchen, so würde die Schiebung der Induktorrolle bis zur Mitte des Hufeisens unbequem und schwierig auszuführen sein; darum eignen sich *gerade Stabmagnete,* wie Herr Hofrath Gauss gebraucht, hierzu besser als Hufeisenmagnete.

Der *ersten* und wichtigsten Forderung an einen Induktor, welcher zu galvanischen Messungen dienen soll, dass derselbe Strom zur Wiederholung der Messung *mehrmals* hervorgebracht werden könne, wird hiernach vom Gauss'schen Induktor vollkommen genügt.

2. Derselbe Induktor genügt aber auch der zweiten Forderung, dass mit mässigen Mitteln eine möglichst grosse Wirkung hervorgebracht werde. Der inducirte Strom ist bekanntlich von gleicher Beschaffenheit, so lange die Induktorrolle in derselben Richtung aus beliebiger Entfernung bis zur Mitte des Stabes fortgeschoben wird; über die Mitte des Stabes darf aber die Induktorrolle nicht hinweg geschoben werden, weil sonst der Strom umgekehrt würde. Die äussersten Grenzen der Schiebung ohne Umkehrung des Stromes sind also die eine in unendlicher Entfernung vom Stabe, die andere in seiner Mitte. Wollte man den Induktor, nachdem man ihn von einer dieser Grenzen zur anderen geschoben hat, wieder rückwärts schieben, so würde der Strom umgekehrt werden, ausgenommen, wenn man vor dem Rückwärtsschieben den Induktor durch Drehung in die verkehrte Lage bringen könnte, ohne, dass durch diese Drehung ein entgegengesetzter Strom inducirt würde. An der einen Grenze, in der Mitte des Stabes, ist keine solche Drehung möglich, wohl aber an der anderen Grenze, in unendlicher Entfernung vom Stabe, wo von selbst einleuchtet, dass gar kein Strom inducirt wird, wie auch die Induktorrolle gedreht werde. Schiebt man die Induktorrolle in verkehrter Lage zurück, so muss nach bekannten

Gesetzen derselbe Strom entstehen, wie in der früheren Lage beim Vorwärtsschieben. Auf diese Weise ist die Möglichkeit gegeben, die Wirkung der Induktion zwischen den oben angegebenen äussersten Grenzen der Schiebung zu verdoppeln, wenn die Induktorrolle anfangs in der Mitte des Magnetstabes sich befindet. Man entfernt sie nämlich von da möglichst weit, dreht sie um und bringt sie darauf wieder bis zur Mitte des Stabes zurück. Ist dies geschehen, so ist keine Möglichkeit mehr vorhanden, die Induktion gleichartig noch weiter fortzusetzen, sondern die Gesammtwirkung des bisher durch *einen Wechsel* (womit oben das Abziehen der Induktorrolle von der Mitte des Stabes und das unmittelbar darauf folgende verkehrt Wiederaufschieben bezeichnet worden ist) inducirten Stroms ist der Natur der Sache nach das Maximum der Wirkung, welches mit solchen Mitteln zu erreichen ist. — Wichtig ist es endlich für die Anwendung noch zu bemerken, dass nach den Induktionsgesetzen diese Wirkung unverändert bleibt, wenn die Umkehrung der Induktionsrolle, statt in unendlicher Ferne, dicht am Stabe vorgenommen wird, weil hier durch die Umdrehung selbst ein Strom inducirt wird, der genau dieselbe Wirkung, wie der durch weitere Schiebung inducirte, hat.

3. Die *Mitte des Magnetstabes als Grenze der Schiebung* genügt auch der dritten Forderung an einen Induktor, welcher zu Messungen gebraucht werden soll, nämlich, dass man die Kraft der Induktion genau verdoppeln, verdreifachen u. s. w. und näherungsweise wenigstens auch ihre absolute Grösse im Voraus veranschlagen könne.

„Man kann in kurzer Zeit,“ sagt Herr Hofrath Gauss in der oben angeführten Stelle, „sehr viele Wechsel eintreten lassen, die vermöge entsprechenden Spiels des Kommutators alle einander verstärken, und die Magnetnadeln der Magnetometer in so grosse Bewegung, wie man will, versetzen. Die Erfahrung zeigt bei solchen Versuchen eine Uebereinstimmung in den quantitativen Verhältnissen, die nichts zu wünschen übrig lässt.“ Die Gesammtwirkungen der inducirten Ströme auf die Magnetnadeln der Magnetometer, die sehr verschieden sind, je nachdem 1, 2, 3 oder mehrere Wechsel in angegebener Weise dazu gehören, sind unter einander genau *vergleichbar:* sie verhalten sich genau wie die *Anzahl der Wechsel*, vorausgesetzt, dass dabei alle Regeln genau beobachtet werden, um von Nebeneinflüssen unabhängige Resultate zu erhalten.

Endlich soll auch die absolute Grösse der hervorzubringenden Gesammtwirkung näherungsweise geschätzt werden können, was desto leichter ist, je weiter die Induktorrolle zu Anfang und zu Ende von dem Orte des freien Süd- und Nordmagnetismus sich befindet und je weiter letztere von einander geschieden sind. Im entgegengesetzten Falle lässt sich die Wirkung nicht vorausbestimmen, weil dazu eine

genauere Kenntniss der Vertheilung des freien Magnetismus im inducirenden Magnetstabe nöthig wäre, als man sich verschaffen kann. Es ist bekannt, dass der freie Magnetismus eines Magneten auf seiner Oberfläche vertheilt gedacht werden kann, und dass der grösste Theil bei einem stark magnetisirten langen und geraden Stabe auf die Endflächen fällt, auf den Seitenflächen aber von den Enden nach der Mitte zu eine sehr schnelle Abnahme Statt findet, so, dass schon in *grosser Entfernung* von der Mitte des Stabes kein merklicher freier Magnetismus sich befindet. Darum kann bei einem starken, langen und geraden Stabmagnet, wie Herr Hofrath Gauss bei seinem Induktor gebraucht, eine solche Schätzung der Wirkung am leichtesten vorgenommen werden, weil, wenn die Induktorrolle zu Anfang und zu Ende der Induktion in der Mitte des Stabes sich befindet, sie wirklich in ziemlich grosser Entfernung von den Enden des Stabes, wo der freie Magnetismus des Stabes verbreitet gedacht werden kann, sich befindet. Kennt man nämlich 1. das magnetische Moment und die Länge des Stabes, wovon ersteres mit letzterem dividirt näherungsweise den freien Magnetismus $M$ des Stabes giebt, welchen man ohne grossen Fehler auf den Endflächen des Stabes verbreitet denken kann, 2. die Zahl $n$ der Umwindungen der Induktorrolle, 3. den Widerstand $R$ der Induktorrolle und der übrigen Kette; so giebt die Formel $nM|R$ ein Maass des durch einen Wechsel inducirten Stromes, das zwar nicht ganz genau, doch aber zur ungefähren Schätzung und Vergleichung der von verschiedenen Stäben und von verschiedenen Induktorrollen herrührenden Wirkungen dienen kann. Der Durchmesser des Induktors im Vergleich zur Länge des inducirenden Magnetstabes wird dabei als sehr klein vorausgesetzt.

Es ist oben aufmerksam gemacht worden, dass, wenn mit dem Induktor genaue galvanische Messungen gemacht werden sollen, die Regeln beobachtet werden müssen, welche die Beobachtungskunst an die Hand giebt, um den Einfluss, welchen die veränderliche Lage des Magnetstabes gegen den Multiplikator, die vorhandene und die entstehende Bewegung des Magnetstabes (durch andere zugleich mit der galvanischen Kraft auf den Magnetstab wirkende Kräfte) haben, von den Resultaten auszuschliessen. Mit diesen Regeln möge die Betrachtung des Gauss'schen Induktors beschlossen werden. Es sind folgende:

1. Alle Wechsel, deren Gesammtwirkung gemessen werden soll, müssen in der Zeit ausgeführt werden, wo der schwingende Magnetstab im Magnetometer die Gleichgewichtslage passirt.

2. Die Zeit, in welcher alle jene Wechsel ausgeführt werden, muss ein kleiner Bruchtheil von der Zeit sein, welche der Magnetstab zu einer Schwingung braucht.

Wenn diese beiden Regeln beobachtet werden, so erhält man durch

Messung der Elongationen des schwingenden Magnetstabes vor und nach der Induktion Resultate, welche ein wahres Maass der Gesammtwirkung, die blos von der Stärke und Dauer des galvanischen Stromes abhängt, geben. Denn alsdann ist 1. die Lage der Nadel im Multiplikator während der Induktion immer die nämliche, der Stab möge kleine oder grosse Schwingungen machen, 2. die Schwingungs-Epochen des Stabes werden fast gar nicht gestört, sondern 3. blos die Elongationsweite abgeändert, die man vor- und nachher in vorausbestimmten Augenblicken beobachten kann, endlich 4. diese Aenderung der Elongationsweite, worin die uns messbare Wirkung der Induktion besteht, ist dann am grössten.

Es leuchtet hierbei von selbst ein, dass obige Vorschriften desto leichter und genauer gehalten werden können, je grösser die *Schwingungsdauer* des Magnetstabes ist. Herr Hofrath Gauss gebraucht deshalb, wie oben bemerkt worden ist, meist eine 25pfündige Magnetnadel, deren Schwingungsdauer etwa 40 Sekunden (bei der transversalen Lage im Bifilar-Magnetometer etwa 60 Sekunden) beträgt. Hierin liegt ein Hauptgrund, dass seine Beobachtungen der galvanischen Erscheinungen an der zur vollständigen Erforschung der Gesetze nöthigen Präcision selbst den besten astronomischen Beobachtungen vergleichbar sind. Der Vortheil, den die Einführung der Magnetometer mit *grossen Nadeln* hat, leuchtet hieraus auch in Beziehung auf die *galvanischen Messungen* so klar ein, dass es nicht nöthig ist, dabei länger zu verweilen.

Es können Fälle vorkommen, wo zu einer beabsichtigten Wirkung viele Wechsel nöthig sind, und wo es dann schwer ist, sie alle in so kurzer Zeit auszuführen, wie es die obige Vorschrift verlangt. Für diesen besonderen Fall lässt sich leicht eine Abänderung zu Beschleunigung der Wechsel treffen. Diese Abänderung besteht darin, dass man statt *eines* Magnetstabes *zwei* gebraucht, deren Axen in gerader Linie liegen (beide können zu diesem Zwecke in eine Röhre eingeschlossen werden). Die beiden Stäbe sollen einander feindliche Pole zukehren, jedoch durch einen bedeutenden Zwischenraum (von 8 bis 12 Zoll) geschieden sein, wie Fig. 7 darstellt. Die Induktorrolle, welche den einen Stab in seiner Mitte umschliesst, braucht dann blos verschoben, und nicht gedreht zu werden, und die Schiebung wird blos nach *einer* Richtung, nicht wieder rückwärts, so weit fortgesetzt, bis die Induktorrolle die Mitte des anderen Stabes umgiebt. Diese Schiebung in *einer* Richtung lässt sich mit beliebiger Schnelligkeit machen, weit schneller, als die Schiebung, Umdrehung und Rückschiebung des vorigen Induktors.

Als *Beispiel* des Gebrauchs des Gauss'schen Induktors zu galvanischen Messungen mögen die Versuche dienen, welche mit dem zum Magnetometer der Göttinger Sternwarte gehörigen Induktor gemacht worden sind, um den konstanten Widerstand einer kleinen Drahtrolle von

3600 Umwindungen zu bestimmen, dessen Kenntniss für andere Versuche, welche mit dieser Rolle gemacht worden waren, verlangt wurde. Da der Widerstand des Induktordrahts, so wie auch der beiden Multiplikatoren in der Sternwarte und im magnetischen Observatorium genau bekannt waren, so brauchte der gesuchte Widerstand mit dem bekannten nur verglichen zu werden. Dazu wurden folgende zwei Reihen von Versuchen gemacht.

*Erste Reihe.*

Der vom Induktor ausgehende Strom ging durch die Multiplikatoren der Sternwarte und des magnetischen Observatoriums.

Die Nadel des Magnetometers wurde in Schwingung versetzt und die Versuche mit einer Elongation von 506,4 Skalentheilen begonnen. Der Ruhestand der Nadel war nämlich 1000,5 und die zuerst beobachtete Elongation war 1506,9. Rechnen wir die Zeit vom Augenblicke dieser zuerst beobachteten Elongation, so wurden die Versuche mit Rücksicht auf die 60 Sekunden lange Schwingungsdauer der Nadel folgendermassen angeordnet:

| Zeit. | Wechsel. | Elongation. |
|---|---|---|
| 0 sek | — | 1506,9 |
| 30 | erster | |
| 60 | — | 1872,8 |
| 120 | — | 501,0 |
| 150 | zweiter | |
| 180 | — | 123,8 |
| 240 | — | 1504,0 |
| 270 | dritter | |
| 300 | — | 1874,5 |
| 360 | — | 498,8 |
| 390 | vierter | |
| 420 | — | 122,3 |
| 480 | — | 1505,5 |
| 510 | fünfter | |
| 540 | — | 1875,3 |
| 600 | — | 500,0 |
| 630 | sechster | |
| 660 | — | 123,0 |

Der Kommutator wurde bei diesen Versuchen gar nicht gebraucht, weil sie so angeordnet sind, dass die Nadel vom inducirten Strom abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten getrieben werden sollte, was von selbst geschieht, weil zwei auf einander folgende Wechsel entgegengesetzte Ströme induciren. Man bemerke hierbei, dass die fünfte Beobachtung mit der ersten, die sechste mit der zweiten u. s. w. fast genau übereinstimmt, was die Rechnung erleichtert. Wären die Beobachtungen mit einer anderen Elongation, als der oben angegebenen begonnen worden, so müssten die ersten Beobachtungen, welche dann jene Ueber-

einstimmung nicht zeigen würden, von der Rechnung ausgeschlossen werden. Diese Regel gilt, wenn, wie in unserem Beispiele, das Magnetometer *mit Dämpfer* versehen ist. *Ohne Dämpfer* lässt sich die rechte Elongation von Anfang an dadurch herstellen, dass man die Nadel von der Ruhe ab mit der *halben* Kraft eines Induktor-Wechsels in Bewegung setzt.

*Zweite Reihe.*

Der vom Induktor ausgehende Strom ging, ausser den beiden Multiplikatoren, durch eine kleine Drahtrolle von 3600 Umwindungen.

Die Nadel des Magnetometers wurde in Schwingung gesetzt und die Versuche mit einer Elongation von 429,7 Skalentheilen begonnen. Der Ruhestand der Nadel war nämlich 1004,5 und die zuerst beobachtete Elongation war 574,8. Die Versuche wurden eben so wie die vorigen angeordnet.

| Zeit. | Wechsel. | Elongation. |
|---|---|---|
| 0 sek | — | 574,8 |
| 30 | erster | |
| 60 | — | 255,8 |
| 120 | — | 1432,4 |
| 150 | zweiter | |
| 180 | — | 1754,7 |
| 240 | — | 573,5 |
| 270 | dritter | |
| 300 | — | 260,0 |
| 360 | — | 1430,4 |
| 390 | vierter | |
| 420 | — | 1753,7 |
| 480 | — | 575,5 |
| 510 | fünfter | |
| 540 | — | 256,8 |
| 600 | — | 1432,2 |
| 630 | sechster | |
| 660 | — | 1754,0 |

Es ist schon bemerkt worden, dass bei allen diesen Versuchen der *Dämpfer* gebraucht wurde, was, bei Befolgung der für diesen Fall oben vorgeschriebenen Regel, auf die *Resultate* sonst keinen Einfluss hat, als dass sie auf andere Weise, als sonst geschieht, aus den Beobachtungen abgeleitet werden müssen, nämlich auf folgende Weise.

Man schreibe die beobachteten Elongationen der Reihe nach unter einander. Daneben schreibe man die Summe der 1. und 3., der 2. und 4. u. s. w. Der 4. Theil der Summe je zweier von den letzten Zahlen giebt den Ruhestand der Nadel von 60 zu 60 Sekunden. Zeigen sich darin grosse Unterschiede, so beweist dies, dass entweder während der Beobachtungen grosse Anomalien des Erdmagnetismus Statt gefunden haben, oder, was wahrscheinlicher ist, dass bei den Versuchen ein Fehler begangen worden ist. In beiden Fällen müssen die Beobachtungen ver-

worfen werden. So dient diese erste Rechnung zur Prüfung der Beobachtungen. — Sodann schreibe man neben die beobachteten Elongationen die Unterschiede der 1. und 3., der 2. und 4. u. s. w. und bezeichne das Mittel aus der 1., 3., 5. Zahl u. s. w. mit $a$, das Mittel aus der 2., 4., 6. u. s. w. mit $b$, so erhält man ein vom Einfluss des Dämpfers unabhängiges Maass des inducirten Stromes, wenn man die Summe der Quadrate $a^2 + b^2$ mit dem geometrischen Mittel $\sqrt{ab}$ jener beiden Zahlen dividirt[1]. Zugleich ergiebt sich der logarithmische Exponent der Schwingungsabnahme $= \log \frac{b}{a}$.

Aus der *ersten* Reihe erhält man hiernach folgende Bestimmungen:

| Für den Stand des Magnetometers | | | Für die Wirkung des inducirten Stromes | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Elongation. | Summe. | Stand. | Elongat. | Untersch. | Resultate. |
| 1506,9 | | | 1506,9 | | |
| 1872,8 | 2007,9 | | 1872,8 | 1005,9 | |
| 501,0 | 1996,6 | 1001,1 | 501,0 | 1749,0 | $a = 1005{,}3$ |
| 123,8 | 2005,0 | 1000,4 | 123,8 | 1003,0 | $b = 1751{,}4$ |
| 1504,0 | 1998,3 | 1000,8 | 1504,0 | 1750,7 | |
| 1874,5 | 2002,8 | 1000,3 | 1874,5 | 1005,2 | $\frac{a^2+b^2}{\sqrt{ab}} = 3073{,}4$ |
| 498,8 | 1996,8 | 999,9 | 498,8 | 1752,2 | |
| 122,3 | 2004,3 | 1000,3 | 122,3 | 1006,7 | |
| 1505,5 | 1997,6 | 1000,5 | 1505,5 | 1753,0 | $\log \frac{b}{a} = 0{,}24109$ |
| 1875,3 | 2005,5 | 1000,8 | 1875,3 | 1005,5 | |
| 500,0 | 1998,3 | 1000,9 | 500,0 | 1752,3 | |
| 123,0 | | | 123,0 | | |

Aus der *zweiten* Reihe erhält man folgende Bestimmungen:

| Für den Stand des Magnetometers | | | Für die Wirkung des inducirten Stromes | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Elongation. | Summe. | Stand. | Elongat. | Untersch. | Resultate. |
| 574,8 | | | 574,8 | | |
| 255,8 | 2007,2 | | 255,8 | 857,6 | |
| 1432,4 | 2010,5 | 1004,4 | 1432,4 | 1498,9 | $a = 857{,}0$ |
| 1754,7 | 2005,9 | 1004,1 | 1754,7 | 858,9 | $b = 1496{,}3$ |
| 573,5 | 2014,7 | 1005,1 | 573,5 | 1494,7 | |
| 260,0 | 2003,9 | 1004,6 | 260,0 | 856,9 | $\frac{a^2+b^2}{\sqrt{ab}} = 2625{,}9$ |
| 1430,4 | 2013,7 | 1004,4 | 1430,4 | 1493,7 | |
| 1753,7 | 2005,9 | 1004,9 | 1753,7 | 854,9 | |
| 575,5 | 2010,5 | 1004,1 | 575,5 | 1496,9 | $\log \frac{b}{a} = 0{,}24205$ |
| 256,8 | 2007,7 | 1004,5 | 256,8 | 856,7 | |
| 1432,2 | 2010,8 | 1004,6 | 1432,2 | 1497,2 | |
| 1754,0 | | | 1754,0 | | |

Auf diese Maassbestimmung der galvanischen Ströme können wir eine Vergleichung des Widerstandes der Ketten gründen. Der galvanische Strom ist nämlich der galvanomotorischen Kraft direkt, dem

[1] Wann $a$ und $b$ gleich oder wenig verschieden sind, was *ohne Dämpfer* der Fall ist, so vereinfacht sich obiger Ausdruck, und das Maass des inducirten Stromes ist dann $= a + b$.

Widerstand der Kette umgekehrt proportional, und letzterer ist die Summe der Widerstände aller Theile der Kette. Bezeichnet man daher die galvanomotorische Kraft, welche bei allen Versuchen die nämliche blieb, mit $A$, den bekannten Widerstand der Induktorrolle nebst beider Multiplikatoren mit $R$, den gesuchten Widerstand der kleinen Drahtrolle mit $X$, so giebt obiges Gesetz, auf unsere Versuche angewendet, zwei Gleichungen

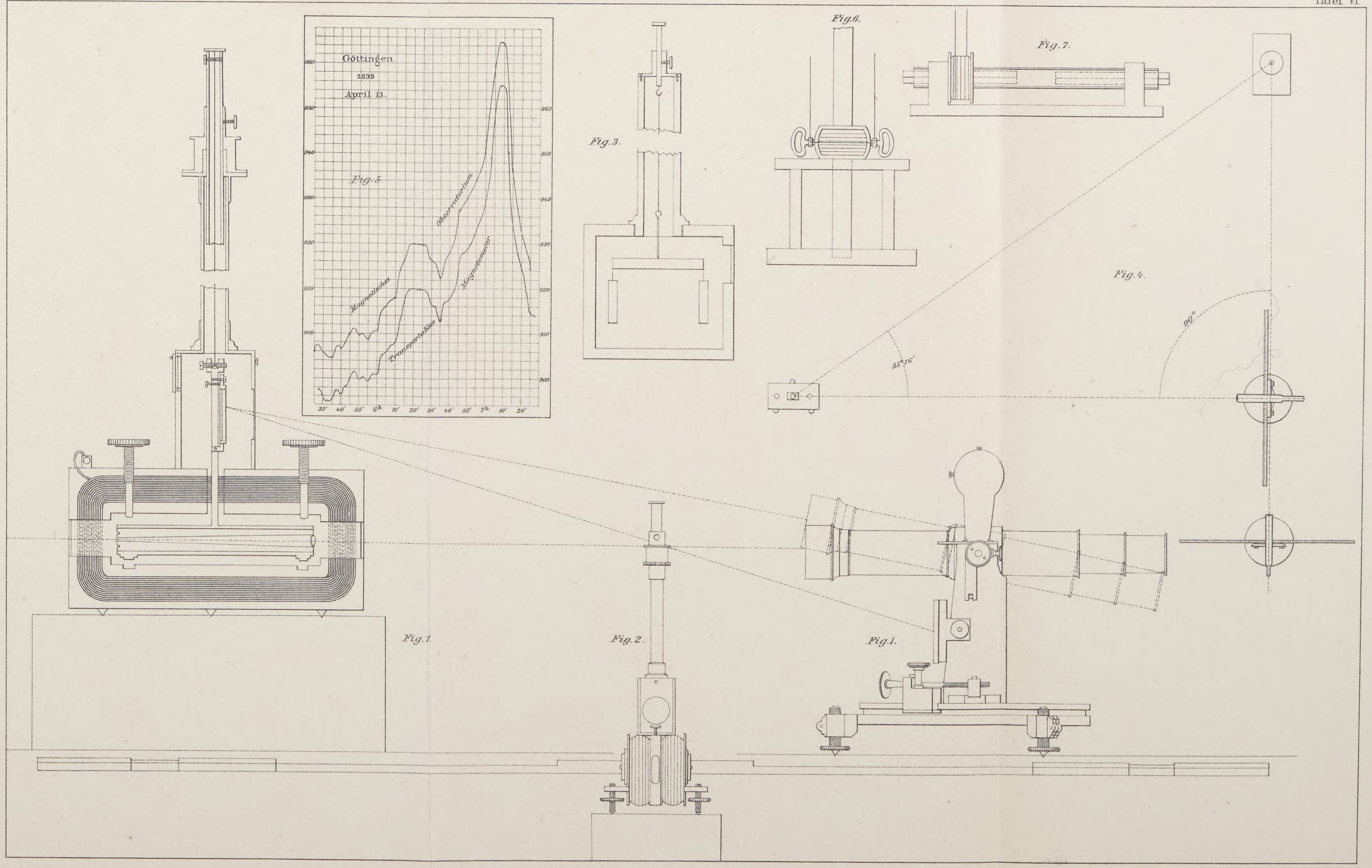
$$3073{,}4 = \frac{A}{R}$$

$$2625{,}9 = \frac{A}{R+X},$$

woraus zur Vergleichung von $R$ und $X$ folgt:

$$X : R = 447{,}5 : 2625{,}9.$$

*W.*




*Maasstab: 0,85 der Original-Zeichnungen in den „Resultaten" vom Jahre 1838.*

VIII.

# Der Rotationsinduktor.[1])

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1838, V, S. 102—117.]

---

Der Strom, welcher durch einen Wechsel des vorigen Induktors hervorgebracht wird, kann so stark und von so kurzer Dauer sein, dass seine Wirkung auf die Magnetnadel einem Stosse verglichen werden kann, welcher der Nadel plötzlich ertheilt wird. Lässt man aber solche Stösse regelmässig und schnell auf einander folgen und begleitet sie mit dem entsprechenden Spiel des Kommutators, so, dass die Wirkungen aller Wechsel in den Multiplikatoren sich verstärken: so kann dadurch eine Art fortdauernden Stromes hervorgebracht werden, oder eigentlich ein periodisch wiederkehrender Strom, dessen Wirkungen von denen eines gleichförmigen Stromes desto weniger verschieden sind, je schneller die periodische Wiederkehr ist. Es leuchtet von selbst ein, wie unbequem es wäre, wenn man diese regelmässige Wiederholung der Wechsel und das dabei nothwendige Spiel des Kommutators aus freier Hand bewerkstelligen wollte, und wie viel bequemer es ist, einen Mechanismus auszudenken, durch welchen alles von selbst geschieht, wenn man an einem Rade dreht. Die Mechanik bietet hierzu viele Mittel und Wege dar. Bald kann der Magnet vor der Induktorrolle, bald die Induktorrolle vor dem Magnete gedreht werden. Auch zur Selbstkommutation können verschiedene Einrichtungen getroffen werden. — Ein anderes Interesse, als die Betrachtung der verschiedenen mechanischen Vorrichtungen, deren man sich bedienen kann, gewährt die genaue Erwägung der Umstände, von welchen der *Totaleffekt* abhängt, um zu prüfen, ob und welche Grenzen die Natur der Sache der Kraft solcher Induktoren setze. Denn es würde von grosser Wichtigkeit sein, wenn man damit dauernde Ströme hervorbringen könnte, welche grosse galvanische Säulen in ihrer Wirkung zu ersetzen vermöchten, weil letztere unregelmässig in ihrer Wirksamkeit befunden und bald kraftlos werden, schwer in Gang und ausser Gang zu bringen sind, und durch Verbrauch

---

[1]) [Hierzu Tafel VII, Fig. 1—5.]

von Säure und Metall grosse Kosten verursachen. Alle diese Hindernisse, welche einer öfteren nützlichen Anwendung des Galvanismus entgegen stehen, würden wegfallen, wenn eben so starke und dauernde Ströme, wie durch Hydrogalvanismus, durch Induktion hervorgebracht würden. Es ist interessant zu prüfen, was in dieser Beziehung, und wie es, der Natur der Sache nach, zu erreichen ist.

Bei einer solchen Prüfung sind folgende 3 Gegenstände besonders in Betracht zu ziehen: 1. die Grösse der magnetischen Kräfte, welche in Wirksamkeit gesetzt werden, 2. die Grösse und Gestalt der Induktorrolle, 3. die Geschwindigkeit der Wechsel oder der Drehung.

Die grössten *magnetischen Kräfte,* die man hat, sind gewöhnlich die Streichmittel, die man zum Magnetisiren gebraucht. Als Streichmittel zum Magnetisiren eignen sich aber grosse Magnetstäbe und daraus zusammengesetzte Bündel mehr als Hufeisenmagnete. Sollen daher die grössten magnetischen Kräfte, die man hat, benutzt werden, so muss man darauf bedacht sein, wie man grosse Stäbe und daraus zusammengesetzte Bündel statt der sonst üblichen Hufeisenmagnete mit Vortheil gebrauchen könne.

Der Gebrauch solcher Stäbe zu einem Rotationsinduktor hat insofern einen Vorzug, als man die Endflächen, auf denen man den grössten Theil des freien Magnetismus vertheilt denken kann, in eine beliebige gegenseitige Lage bringen kann. Z. B. kann man die beiden Stäbe so *neben einander* legen, dass ihre Endflächen, wie die eines Hufeisenmagnetes, in einer Ebene sind, oder man kann sie in gerader Linie so *hinter einander* legen, dass ein Perpendikel auf die Mitte einer der beiden einander zugekehrten Endflächen auch die andere Fläche in ihrer Mitte perpendikular trifft. Welche von allen Lagen, die man beiden Stäben gegen einander geben kann, ist die günstigste für die Induktion? Ohne Zweifel die zuletzt beschriebene, zumal wenn der Raum klein ist, welcher zwischen den einander zugekehrten Enden bleibt. In dieser Lage wirken alle Theile der Magnete am besten zusammen und üben auf die Induktorrolle die grösste Kraft aus. Ihre Kraft wächst in dieser Lage dadurch, dass sie einander wechselseitig verstärken, und diese Verstärkung ist beträchtlich, wenn sie sehr nahe liegen. Wollte man einen Hufeisenmagneten so konstruiren, dass seine Endflächen ebenfalls einander so gegenüber lägen (wodurch er unbrauchbar würde, wie andere Hufeisenmagnete, Anker und Gewichte zu tragen), so würde doch der Zwischenraum zwischen beiden Flächen unveränderlich, und darum der Gebrauch blos auf Induktorrollen von bestimmtem Umfang beschränkt sein. *Zwei* Hufeisenmagnete können aber mit ihren Polen einander gegenüber beliebig nahe oder weit gelegt werden, gerade so wie jene Stäbe.

Zur Begründung eines richtigen Urtheiles über die Grösse und Gestalt, welche *die Induktorrolle* am zweckmässigsten erhält, wollen wir ein Drahtelement successive in alle Punkte des Zwischenraumes zwischen beide Magnete plötzlich versetzen und den dadurch in ihm inducirten Strom bestimmen und an seiner Stelle bemerken. Dabei soll das Drahtelement in jedem Punkte die günstigste Lage für die Induktion erhalten, nämlich senkrecht auf die Ebene, in welcher jener Punkt und die Axe beider Magnete enthalten ist. Den freien Süd- und Nordmagnetismus der einander zugekehrten Enden beider Stäbe denke man sich einfachheitshalber in zwei Punkten ihrer magnetischen Axe koncentrirt. Den freien Magnetismus der beiden von einander abgewandten Enden beider Stäbe lasse man, um die Rechnung nicht zu verwickeln, unbeachtet, wie wenn er zu entfernt wäre, um merklich einzuwirken. Die folgende Tabelle giebt dann eine Uebersicht von der Stärke der Induktion in den verschiedenen Punkten des Zwischenraumes. $A$ und $B$ sind die beiden Punkte, wo Süd- und Nordmagnetismus koncentrirt gedacht werden. In den Ueberschriften der Kolumnen werden die Horizontalabstände der betrachteten Punkte von $A$, in der ersten Kolumne die Vertikalabstände in Zehnteln der Linie $AB$ angegeben.[1]

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 13138 | 12431 | 12041 | 11546 | 11430 | 11546 | 12041 | 12431 | 13138 | 9 |
| 8 | 14107 | 13136 | 12380 | 11910 | 11750 | 11910 | 12380 | 13136 | 14107 | 8 |
| 7 | 15274 | 13895 | 12842 | 12187 | 11964 | 12187 | 12842 | 13895 | 15274 | 7 |
| 6 | 16726 | 14729 | 13225 | 12303 | 11994 | 12303 | 13225 | 14729 | 16726 | 6 |
| 5 | 18595 | 15613 | 13435 | 12141 | 11716 | 12141 | 13435 | 15613 | 18595 | 5 |
| 4 | 21104 | 16459 | 13294 | 11520 | 10956 | 11520 | 13294 | 16459 | 21104 | 4 |
| 3 | 24503 | 16966 | 12458 | 10186 | 9500 | 10186 | 12458 | 16966 | 24503 | 3 |
| 2 | 28831 | 16136 | 10321 | 7845 | 7152 | 7845 | 10321 | 16136 | 28831 | 2 |
| 1 | 29899 | 11327 | 6136 | 4346 | 3884 | 4346 | 6136 | 11327 | 29899 | 1 |
| A | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | B |

Zu bemerken ist, dass dasselbe, was von jedem der hier betrachteten Punkte gilt, von allen Punkten gilt, die mit ihm einen Kreis bilden, dessen Mittelpunkt in der Axe $AB$ liegt, und dessen Ebene auf

---

1) Diese Tabelle ist nach der Formel:

$$\frac{1}{y}\left(2 - \frac{1}{\sqrt{1+\frac{y^2}{x^2}}} - \frac{1}{\sqrt{1+\frac{y^2}{(1-x)^2}}}\right)$$

berechnet, wo $x$ und $y$ die rechtwinkligen Koordinaten des fraglichen Punktes, für $A$ als Anfangspunkt und $AB$ als Axe der $x$, bezeichnen. Die Linie $AB$ ist zur Einheit genommen und die Resultate zur Vermeidung der Brüche mit 10000 multiplicirt worden. Da Herr Hofrath GAUSS künftig in diesen Blättern die Gesetze des Galvanismus und der Induktion in ihrem Zusammenhange entwickeln wird, worin auch der Grund und Beweis dieser Formel enthalten sein wird, so ist es unnöthig, zur Erläuterung der Formel hier etwas beizufügen.

*AB* senkrecht ist. Wenn es daher vortheilhaft ist, den Draht durch einen der betrachteten Punkte gehen zu lassen, so ist es auch vortheilhaft, ihn durch alle Punkte des Kreises gehen zu lassen, woraus folgt, dass die Induktionsrolle aus lauter kreisförmigen Drahtringen bestehen werde, deren Mittelpunkte sämmtlich in der magnetischen Axe *AB* liegen und deren Ebene darauf senkrecht ist. Soll der Draht eine einzige Kette bilden, so müssen die Kreise mit Spiralwindungen vertauscht werden, welche von jener Kreisform am wenigsten abweichen. Endlich bemerke man noch, dass, wenn der Abstand *AB* der beiden Magnetpole veränderlich ist, die Induktion in Punkten, welche gegen *AB* ähnlich liegen, dem Abstand *AB* umgekehrt proportional ist.

Nach dieser Uebersicht lassen sich nun leicht Regeln zur zweckmässigen Einrichtung der Rotationsinduktoren geben. Wir wollen zwei Fälle näher betrachten und dafür die Regeln entwickeln, nämlich *erstens* den Fall, wenn man *zwei* Magnetstäbe hat, die einander freundliche Pole zukehren, zwischen welchen die Induktorrolle Platz findet; *zweitens* den Fall, wenn man *vier* Magnetstäbe oder zwei Hufeisenmagnete hat, welche zwei von freundlichen Polen begrenzte Zwischenräume für die Induktorrolle darbieten.

### 1. *Die Induktorrolle zwischen zwei Magnetpolen.*

Wir haben bisher blos ein Drahtelement betrachtet, welches in verschiedene Punkte des Zwischenraumes zweier Magnete gebracht wurde, haben aber bemerkt, dass von den ganzen Drahtringen, welche, die magnetische Axe umkreisend, durch jene Punkte gehen, dasselbe gilt. Auf diese Weise lässt sich die Induktion verschiedener Ringe vergleichen, so dass, wenn man die eines einzigen kennt, die aller anderen daraus berechnet werden kann. Für die Induktion eines einzelnen Ringes kommen die nämlichen Regeln in Anwendung, welche wir beim Gauss'schen Induktor kennen gelernt haben. Die Grösse der Induktion hängt von der Bewegung des Ringes gegen die Magnete ab. Dieselbe Induktion, welche man erhalten würde, wenn man den Ring aus dem Zwischenraume zwischen beiden Magneten herauszöge, weit davon entfernte, dann umkehrte und so in seine frühere Lage zurückbrächte, wird nach den Gesetzen der Induktion durch eine halbe Umdrehung des Ringes um seinen Durchmesser hervorgebracht. Diese Induktion ist zwar nur ein Theil von der, welche man mit demselben Ringe hervorbringen würde, wenn man einen ganzen *Wechsel* (siehe S. 108, 112) damit ausführte; ist aber das Maximum, welches sich durch blosse Drehung (ohne Kommutation) erreichen lässt. Nun leuchtet ein, dass der grösste Ring, den man in dem Raume zwischen beiden Magneten

umdrehen kann, den Abstand der Magnete zum Durchmesser hat, und mitten zwischen beiden Magneten liegt. Dieser Ring beschreibt eine Kugelfläche und den von dieser Kugelfläche eingeschlossenen Raum kann man nach Belieben theilweis oder ganz mit Drahtringen erfüllen, die alle mit dem mittelsten Drahtringe um dieselbe Axe sich drehen lassen; aber ausser dieser Kugelfläche darf kein Drahtring liegen, weil sonst bei Umdrehung der Kugel die Magnete dagegen stossen würden. Zwar wird dann ein Ring, der nicht in der Mitte zwischen beiden Magneten, sondern dem einen näher als dem anderen liegt, durch jene halbe Umdrehung nicht wieder genau an seine frühere Stelle zurückgeführt, sondern dem zweiten Stabe so weit genähert, als er vorher dem ersteren lag; vorausgesetzt aber, dass die beiden Magnetstäbe gleich sind, so ist die Wirkung die nämliche, wie wenn der Ring um seinen eigenen Durchmesser gedreht worden wäre.

Nun fragt es sich, ob es vortheilhaft sei, den ganzen Raum der Kugel mit Drahtringen zu erfüllen, oder gewisse Räume leer zu lassen, und welche? Wir wollen den Raum der Kugel in Fachwerke theilen, nach Maassgabe des Vortheiles, den sie bringen, wenn sie mit Drahtringen erfüllt werden, woraus sich unmittelbar ergiebt, welche Fachwerke zu erfüllen mehr oder weniger wichtig sei.

$A$ und $B$ Fig. 1 bezeichnen dieselben Punkte wie früher. Die Linie $AB$ werde in $C$ halbirt und mit $AC = BC$ als Halbmesser ein Kreis um $C$ beschrieben, der den Querschnitt der Kugel darstellt, wenn die Magnetstäbe nicht über $A$ und $B$ hinausreichen. Reichen die Stäbe bis $D$ und $E$, so beschreibe man mit $DC = EC$ einen kleineren Kreis, welcher den Querschnitt der Kugel darstellt. Aus der S. 121 gegebenen Tafel und Formel ergiebt sich dann, dass die krumme Linie $abc$ Fig. 1 alle Punkte verbindet, wo die Zahl 4000; $a'b'c'$ wo 8000; $a''b''c''$ wo 12000; $a'''b'''c'''$ wo 16000; $a^{IV}b^{IV}c^{IV}$ wo 20000 hingehört. Der innere Raum der Kugel, welcher von den durch alle Punkte der Linie $abc$ gehenden Ringen eingeschlossen wird, darf am ersten unerfüllt bleiben, weil das Maass des Vortheiles darin am kleinsten ist und nirgends 4000 übersteigt, während es in den folgenden Fachwerken grösser ist, nämlich zwischen $abc$ und $a'b'c'$ grösser als 4000 und kleiner als 8000, zwischen $a'b'c'$ und $a''b''c''$ grösser als 8000 und kleiner als 12000 u. s. w. Diese Kurven, mit deren Hülfe sich also leicht übersehen lässt, welchen Vortheil die Erfüllung der verschiedenen Abtheilungen der Kugel mit Drahtwindungen gewährt, sind vom Herrn Hofrath Gauss schon vor mehreren Jahren zur Konstruktion kräftiger Rotationsinduktoren angegeben worden.

Findet man es nun zu irgend einem Zwecke vortheilhaft, den *inneren* Raum der Kugel, welcher von einer Fläche begrenzt ist, die

von einer jener Kurven durch Drehung um die Axe *AB* beschrieben wird, nicht mit Drahtringen zu erfüllen, so steht es frei, diesen Raum anderweitig vortheilhaft zu benutzen, z. B. dadurch, dass man ihn mit weichem Eisen erfüllt; denn dadurch gewinnt man eine mittelbare Induktion, ohne an der unmittelbaren Induktion der Magnete auf die Drahtringe etwas zu verlieren. In dem weichen Eisen wird nämlich der Magnetismus bei Umdrehung desselben zwischen den Magneten in sehr starke Bewegung gesetzt. Diese von den Magneten im Eisen hervorgebrachte Bewegung des Magnetismus inducirt in den umgebenden Drahtwindungen einen eben solchen Strom, wie von den Magneten unmittelbar in den bewegten Drahtwindungen inducirt wird. Die durch das weiche Eisen vermittelte Induktion verstärkt also die unmittelbare Induktion der Magnete. Es ist daher sehr vortheilhaft, die inneren Räume der Kugel, welche man mit Drahtwindungen nicht erfüllen will oder kann, auf diese Weise zu benutzen. Bei näherer Prüfung ergiebt sich sogar, dass, bis zu einer bestimmten Grenze, dieser Vortheil grösser ist, als der, welchen man durch Drahtwindungen an der Stelle des weichen Eisens erreichen kann. Diese Grenze wird in der Folge näher bestimmt werden, wenn die *Beweglichkeit des Magnetismus im weichen Eisen* genauer untersucht worden ist.

Der Mechanikus Meyerstein in Göttingen hat hiernach mehrere Rotationsinduktoren konstruirt. Eine Spindel von weichem Eisen, deren Längendurchschnitt die Form der Kurve *abc* hat, wurde mit übersponnenem Draht umwickelt, bis sie die Form einer Kugel annahm. Um den Draht fest zusammenzuhalten, wurde die Kugel in eine Hülle von starkem Messingblech eingeschlossen. Diese Kugel wurde mit einer Axe versehen, welche mit der Axe der eisernen Spindel einen rechten Winkel machte. Um diese Axe wurde die Kugel schnell gedreht, während die beiden Drahtenden mit einem Kommutator in Verbindung standen, welcher bei jeder halben Umdrehung im Augenblicke, wo die eiserne Spindel von einem Magnet zum anderen gerichtet war, wechselte. Man sieht diesen Induktor Fig. 2 verkleinert abgebildet. Es genüge hier noch anzuführen, dass dieser Induktor oft in Anwendung gebracht und sehr kräftig befunden worden ist, sowohl was die magnetischen, als auch was die elektrischen, optischen und chemischen Wirkungen seiner Ströme betrifft, die man gewöhnlich als Beweis besonderer Kraft anzuführen pflegt. Zu einer schärferen Vergleichung mit anderen Induktoren wären Messungen nöthig, die bei keinem andern bisher gemacht sind und, bei *einem* ausgeführt, wenig nützen würden Diese Messungen sollen daher vorbehalten werden, bis sich Gelegenheit zur Vergleichung mehrerer Apparate findet. Bei einer solchen Vergleichung ist die Geschwindigkeit der Drehung sehr zu beachten, weil ohne sie auch die

beste Einrichtung wenig nützt (wie nachher gezeigt werden wird), während durch mässige Beschleunigung grosse Mängel der Einrichtung kompensirt werden können. Dass die Kugelform einer schnellen Drehung sehr günstig sei, bedarf keiner weiteren Erläuterung.

2. *Die Induktorrolle zwischen zwei Paaren von Magnetpolen.*

Statt einen Drahtring in dem Raume zwischen zwei Magneten halb umzudrehen, kann man ihn auch aus diesem Raume heraus, und in den Raum zwischen zwei andere Magnete mit umgekehrt liegenden Polen hineinführen. Hierdurch wird gewonnen, dass die Grösse der Drahtringe nicht durch den Abstand der Magnete von einander beschränkt wird. Sehr wichtig ist dies für die Ringe, welche einem der beiden Magnete sehr nahe liegen und bei dem beschriebenen Kugelinduktor sehr klein sein mussten. Diese Ringe brauchen nämlich blos in ihrer eigenen Ebene verschoben zu werden, um sie aus jenem Raume herauszuführen, was geschehen kann, wie gross der Ring auch sei, und wie nahe am Magnetstab er liege. Der Raum, welcher hiernach mit Drahtwindungen erfüllt werden kann, wird von zwei parallelen Ebenen begrenzt, welche die Magnetstäbe berühren und auf ihre Axe senkrecht sind. Beide Paare von Stäben müssen so gelegt werden, dass in Beziehung auf jene Ebenen dasselbe von ihnen gilt.

Ist nun die Drahtmasse gegeben, welche zum Induktor verwendet werden soll, so fragt es sich, ob es vortheilhafter sei, den Raum zwischen den Magneten weiter und den Halbmesser der Ringe kleiner, oder jenen Raum enger und diesen Halbmesser grösser zu machen. Es ergiebt sich, dass ein *bestimmtes* Verhältniss des Abstandes der Magnete zum Halbmesser der Ringe am vortheilhaftesten sei, nämlich das Verhältniss 1 : 3,368.[1])

[1]) Dieses Verhältniss ändert sich etwas, wenn nicht der ganze cylindrische Raum, welcher jenen Abstand zur Höhe hat, mit Drahtringen erfüllt werden soll, wenn z. B. ein cylindrischer Raum, dessen Halbmesser viermal kleiner wäre, leer bleiben sollte. Ebenso würde jenes Verhältniss etwas geändert werden, wenn nicht der ganze Raum zwischen den Magnetpolen von dem Drahtcylinder eingenommen werden könnte, wenn z. B. die Pole (womit wir hier die Punkte $A$ und $B$ bezeichnen, in welchen der freie Magnetismus koncentrirt gedacht wird) ins Innere der Magnetstäbe fielen, z. B. wenn der Abstand der Magnete blos drei Viertel des Abstandes der Punkte $A$ und $B$ betrüge. Dann ergäbe sich das Verhältniss 1 : 3,95 als das vortheilhafteste. — Diese Verhältnisse ergeben sich aus der oben (S. 121) angegebenen Formel, welche ein Maass der Induktion für jeden Punkt des Raumes gab. Man muss dazu diese Formel innerhalb der Grenzen der Induktorrolle integriren, und suchen, wann das Resultat ein Maximum ist. Jene Formel war:

$$\frac{1}{y}\left(2 - \frac{1}{\sqrt{1+\frac{y^2}{x^2}}} - \frac{1}{\sqrt{1+\frac{y^2}{(1-x)^2}}}\right),$$

Es ist vortheilhaft, solche Induktorrollen paarweise zu verbinden und zu drehen, so, dass die eine zwischen den beiden ersten Magnetstäben sich befindet, wenn die andere zwischen den beiden letzten, und umgekehrt. Z. B. stellt Fig. 3 dar, wie die eine Rolle zwischen den Polen $S$, $N$, während die andere zwischen den Polen $N'$, $S'$ sich befindet. Beide Rollen sind fest mit einander verbunden und drehen sich um eine gemeinschaftliche Axe $RR$.

Diese Verbindung zweier solcher Rollen vorausgesetzt, wollen wir die Wirkung dieses Induktors mit der des Kugelinduktors vergleichen. Bei dieser Vergleichung ist 1. die Grösse der Wirkung, 2. die Leichtigkeit der Ausführung zu beachten. In beiden Beziehungen verdienen die Induktoren der letzteren Art den Vorzug. Denn ist der zu verwendende Draht gegeben, so bilde man daraus *zuerst* eine Induktorkugel, *sodann* zwei Rollen nach den gegebenen Vorschriften, beide ganz mit Windungen angefüllt. Man findet dann, dass die Wirkung der Rollen mehr als $2^1/_2$ mal grösser als die der Kugel ist.[1]) — Auch in

---

wo der Abstand der Pole $AB$ zur Einheit genommen ist. Bezeichnet man mit $b$ den äusseren, mit $c$ den inneren Halbmesser der Induktorrolle und mit $(1 - 2a)$ den Abstand der Magnete oder die Höhe der Induktorrolle, so ist das Integral jener Formel für den Raum innerhalb der Grenzen der Induktorrolle:

$$2\pi \int_c^b dy \int_a^{1-a} \left(2 - \frac{1}{\sqrt{1+\frac{y^2}{x^2}}} - \frac{1}{\sqrt{1+\frac{y^2}{(1-x)^2}}}\right) dx.$$

Führt man die Integration aus, und setzt in dem einen Falle $c = 0$, $a = 0$, in dem anderen Falle $c = \frac{1}{4}b$, $2a = \frac{1}{4}$; so findet man, dass dieser Ausdruck für die oben angeführten Verhältnisse, d. i. im ersteren Falle für $b = 3{,}368$, im letzteren Falle für $\frac{b}{1-2a} = 3{,}95$ ein Maximum ist, woraus folgt, dass die mit dem gegebenen Drahte zu erreichende Induktion am grössten ist, wenn der Draht zu einer Rolle aufgewunden wird, deren Höhe und Halbmesser sich auf die angegebene Weise verhalten.

[1]) Man findet dieses durch Rechnung, wenn man die mehrmals angeführte Formel, welche die Grösse der Induktion in allen Punkten misst, innerhalb der Grenzen 1. der Kugel, 2. der beiden Rollen integrirt. Das Integral für die Kugel ist $2\pi(\pi - \frac{8}{3})r^2$, wo $r$ den Halbmesser bezeichnet; das für die beiden Rollen ist:

$$4\pi\left(b^2 + ab\left(2 - \sqrt{1+\frac{b^2}{a^2}}\right) + a^2 \log\left(\frac{b}{a} + \sqrt{1+\frac{b^2}{a^2}}\right)\right),$$

wo $a$ die Höhe und $b$ den Halbmesser der Induktorrolle bezeichnet. Beachtet man, dass $b/a = 3{,}368$ und $2r^3 = 3ab^2$ (weil der Rauminhalt der Kugel dem beider Rollen gleich ist); so findet man die Induktion der Rollen grösser als der Kugel, so wie oben angegeben worden ist.

Beziehung auf die Leichtigkeit der Ausführung verdient der zweite Induktor den Vorzug, wie aus näherer Betrachtung seiner Konstruktion, und auch schon daraus hervorgeht, dass der Kostenbetrag für ihn viel geringer ist.

Nachdem wir die Regeln zur Darstellung der besten *Induktorrollen* kennen gelernt haben, bleibt endlich *drittens* zu betrachten übrig, was durch Schnelligkeit der Drehung geleistet werden könne.

Es leuchtet leicht ein, wie wichtig diese Schnelligkeit ist. Sie ist eben so wichtig, wie die Grösse der magnetischen Kräfte; denn so wie die Wirkung verdoppelt wird, wenn die magnetischen Kräfte verdoppelt werden, ebenso geschieht dies, wenn die Schnelligkeit der Drehung verdoppelt wird. Die Grösse der magnetischen Kräfte und die Schnelligkeit der Drehung sind noch weit einflussreicher, als die Grösse der Induktorrolle und der dazu verwandten Drahtmasse; denn letztere muss, wie wir sogleich sehen werden, wenigstens viermal grösser sein, wenn die Wirkung verdoppelt werden soll. Nun ist aber die Schnelligkeit der Drehung von der Grösse der Induktorrolle abhängig; denn ein kleiner Körper lässt sich schneller drehen als ein grosser. Um also eine recht grosse Schnelligkeit der Drehung zu gewinnen, darf keine grosse Induktorrolle angewandt werden. Ist aber die Grösse der Induktorrolle beschränkt und kann dabei doch auch die Schnelligkeit der Drehung nicht beliebig vermehrt werden, so ist auch die Wirkung beschränkt, welche sich mit einem solchen Induktor hervorbringen lässt.

Bedarf man daher einen stärkeren Strom, als *ein* solcher Induktor giebt, so muss man es machen, wie bei einer hydrogalvanischen Säule, deren Platten zu klein sind. Man bauet *mehrere* Säulen auf, und verbindet sie so miteinander, dass sie wie eine Säule von eben so vielen aber grösseren Platten wirken. Man gebrauche also *mehrere* Induktoren, und verbinde sie wie jene Säulen. Es ist hierbei zu bemerken, dass sich von den Induktoren der zweiten Art mehrere so verbinden lassen, dass sie successive vor denselben Magneten vorbeigeführt werden, wie Fig. 4 darstellt, die eine Verbindung von zwei Induktoren der zweiten Art giebt. Auf diese Weise lassen sich auch 3, 4 und mehrere Induktoren verbinden; nur müssen je zwei diametral einander gegenüber liegende Rollen einen eigenen Kommutator erhalten.

Zur Konstruktion der Rotationsinduktoren kann hiernach endlich noch folgende Anweisung hinzugefügt werden.

Der *Zweck*, zu welchem man den Induktor brauchen will, muss stets die Bestimmung des *Widerstandes* im Induktordrahte an die Hand geben. Soll der Strom z. B. aus dem Induktor blos in einen Multiplikator geleitet werden, um eine vom Multiplikator umschlossene Magnetnadel zu

bewegen, so würde der Widerstand des Multiplikators zur vortheilhaftesten Bestimmung des dem Induktordraht zu gebenden Widerstandes dienen. Dieser würde jenem gleich sein müssen.[1]) Wenn der Widerstand bekannt ist, den der Induktordraht erhalten soll, so lässt sich leicht ein Draht finden, der diesen Widerstand hat, und zugleich den ihm bestimmten Raum erfüllt. In unserem Beispiele muss das Verhältniss der Länge zum Querschnitt in dem gesuchten Drahte dasselbe sein, wie in dem gegebenen Multiplikatordraht ($l|s = l'|s'$, wenn $l$, $l'$ die Längen, $s$, $s'$ die Querschnitte beider Drähte bezeichnen); ausserdem muss das Volumen des gesuchten Drahtes dem Volumen $v$ der Rolle gleich sein, auf die er gewunden werden soll ($ls = v$). Man findet also $l$ und $s$, weil man ihr Verhältniss $l|s$, und ihr Produkt $ls$ kennt. Aus diesem Drahte macht man einen Induktor, und versucht, ob seine Wirkung gross genug ist. Ergiebt sich, dass sie zu klein ist, z. B. dass sie verdoppelt oder verdreifacht werden müsse, um dem vorliegenden Zwecke zu entsprechen, so nimmt man zwei- oder dreimal feineren Draht und fertigt daraus 4 oder 9 Rollen von gleicher Grösse, wie die früheren (im Allgemeinen, um eine $n$ mal grössere Wirkung zu erhalten, nimmt man $n^2$ Induktorrollen aus $n$ mal feinerem Drahte). Der Widerstand dieser Drähte zusammengenommen, wenn sie am Anfang und Ende *alle zu einem* Drahte verbunden werden, ist so gross, wie der Widerstand des vorigen Drahtes, weil der aus allen diesen Drähten gebildete Strang den vorigen Draht an Grösse des Querschnittes eben so sehr wie an Länge übertrifft. Während der Widerstand unverändert geblieben, ist aber die Induktionskraft grösser geworden, weil dieser Strang von Drähten (in allen seinen Theilen) mehr Umwindungen, als der vorige Draht macht, mit deren Anzahl ($n$) die Induktionskraft proportional wächst. Die $n$fache Induktionskraft bei demselben Widerstande bringt eine $n$fache Wirkung hervor, wie verlangt wurde.

---

[1]) Nach bekannten galvanischen Gesetzen ist die Stromstärke dem Quotienten der galvanomotorischen Kraft dividirt durch die Summe der Widerstände gleich. Es bezeichne $A$ im Mittel die galvanomotorische (inducirende) Kraft einer Induktorwindung, $n$ die Zahl der Windungen folglich $nA$ die ganze galvanomotorische Kraft. Wenn nun der Rauminhalt der Induktorrolle gegeben ist, so muss, wenn die Zahl der Windungen vergrössert werden soll, der Querschnitt des Drahtes in demselben Verhältnisse abnehmen, in welchem die Länge zunimmt, woraus folgt, dass der Widerstand des Induktordrahtes (weil er der Länge direkt, dem Querschnitt umgekehrt proportional ist) durch $n^2 R$ bezeichnet werden könne, wo $R$ konstant ist. Der gegebene Widerstand des Multiplikators werde mit $R'$ bezeichnet. Die Stromstärke ist dann nach obigem Gesetze $= \frac{nA}{n^2 R + R'}$, und diese ist ein *Maximum* für $n^2 R = R'$, d. h. wenn der Widerstand des Induktordrahtes dem gegebenen Widerstande des Multiplikators gleich ist, was zu beweisen war.

Denselben Zweck würde man auch durch eine einzige Induktorrolle erreichen, wenn man sie vergrössern könnte, ohne die Drehung zu verlangsamen; aber auch unter dieser Voraussetzung würde die Vervielfältigung der Induktoren mehr als ihre Vergrösserung zu empfehlen sein. Denn sollte durch die Vergrösserung der Induktorrolle die Induktionskraft bei unverändertem Widerstande verdoppelt werden, so müsste sowohl *Länge* als *Querschnitt* des Drahtes 8 mal grösser werden, die Induktorrolle also *räumlich* 64 mal oder *linear* 4 mal grösser. Die 8fache Länge des Drahtes giebt dann bei 4 mal grösserem Durchmesser 2 mal mehr Umwindungen. Die inducirende Kraft einer Umwindung ist unverändert, weil sie zwar 4 mal grösseren Umfang hat, aber dafür von den Magnetpolen 4 mal weiter absteht. Die ganze inducirende Kraft verhält sich daher jetzt gegen früher, wie die Zahl der Umwindungen, d. h. sie ist verdoppelt worden, während der Widerstand unverändert blieb. Man gewinnt hiernach durch eine 64 malige Drahtmasse nicht mehr, als oben durch eine 4 malige. (Im Allgemeinen muss, wenn durch Vergrösserung der Induktorrolle der Strom $n$ mal stärker werden soll, die Drahtlänge und der Querschnitt $n^3$ mal, die Drahtmasse folglich $n^6$ mal grösser werden. Hierdurch wird der Widerstand des Drahtes nicht geändert; alle Dimensionen der Rolle wachsen bis zum $n^2$ fachen, die Zahl der Umwindungen zum $n$fachen. Durch die $n^2$fache Vergrösserung der Dimensionen wird an Stromkraft nichts gewonnen, sondern blos durch die $n$ mal grössere Zahl von Umwindungen, wodurch die Stromkraft $n$ mal grösser wird.)

Rechnet man diese Vervielfältigung der Induktorrollen zu den anderen Mitteln, wodurch die Rotationsinduktoren verstärkt werden können, noch hinzu, so haben wir deren *vier* als besonders wichtig kennen gelernt: 1. die Grösse und Lage der inducirenden Magnete, 2. die Form der Drahtrollen, 3. die Schnelligkeit der Drehung, 4. die Zahl der Drahtrollen. Mit allen diesen Mitteln lässt sich die Wirkung sehr vermehren, nur mit dem Unterschiede, dass die drei ersten überall, das letzte Mittel nur dann nöthig ist, wenn man eine grössere Wirkung bei geringerem Widerstande, welche der Wirkung *grösserer* Platten beim Hydrogalvanismus entspricht, beabsichtigt. Die der einer grösseren *Zahl* von Platten beim Hydrogalvanismus entsprechende Wirkung kann man ohne Vermehrung der Zahl der Induktorrollen dadurch schon erreichen, dass man den Raum *einer* Rolle mit *mehr* Windungen aus *feinerem* Draht erfüllt. — Bei Vergleichung der Wirkungen der Rotationsinduktoren mit hydrogalvanischen Ketten muss in letzteren der Leitungswiderstand ebenso berücksichtigt werden, wie wir es in ersteren gethan haben, woraus sich ergiebt, dass zur Verdoppelung der Wirkung die Verdoppelung der *Zahl* der Plattenpaare nicht hin-

reicht, sondern zugleich eine Verdoppelung der *Grösse* der Platten nöthig ist.

Endlich möge bemerkt werden, dass bei Anwendung einer grösseren *Zahl* von Rollen ein *mehrfacher* Gebrauch von ihnen gemacht werden kann, so, dass sie bald eine Säule von einer geringeren Zahl grösserer Plattenpaare, bald eine Säule von einer grösseren Zahl kleinerer Plattenpaare ersetzen, mit anderen Worten, dass bald eine grössere galvanomotorische Kraft, mit grösserem Widerstande verbunden, bald eine kleinere Kraft, mit kleinerem Widerstande verbunden, im Induktor wirksam ist. Hat man z. B. vier Rollen, so kann man sie 1. so verbinden, wie oben beschrieben worden ist, nämlich den Anfang aller Drähte zusammen und das Ende aller Drähte zusammen, wo die einfache Kraft bei einfachem Widerstande wirkt; oder 2. so, dass die beiden letzten Drähte die Fortsetzung der beiden ersten bilden, wo sie die doppelte Kraft bei doppeltem Widerstande ausüben; oder 3. so, dass alle eine einfache fortlaufende Kette bilden, wo sie die vierfache Kraft bei vierfachem Widerstande erhalten. Durch eine blosse Veränderung der Drahtverbindungen kann also ein solcher Induktor drei verschiedenen Zwecken vollkommen angepasst werden, welche den einfachen, doppelten und vierfachen Widerstand fordern. Je grösser die Zahl der Rollen ist, desto mannigfaltiger sind diese Anwendungen.

Vergleicht man den hier beschriebenen Rotationsinduktor mit dem im vorigen Aufsatze betrachteten Induktor, so erkennt man ausser der Verschiedenheit des Zweckes (jener Induktor sollte die Quelle kräftiger Ströme *von kurzer Dauer*, dieser soll die Quelle kräftiger *fortdauernder* Ströme sein) folgenden wesentlichen Unterschied. Bei dem einen Induktor wird ein oder einige Male die *ganze* inducirende Kraft der gegebenen Magnete benutzt; bei dem anderen wird nur *ein Theil* der inducirenden Kraft der gegebenen Magnete benutzt, aber vielmal hinter einander. Dort bringt schon *ein* Wechsel eine grosse Wirkung hervor; es ist aber schwer und fast unmöglich, viele Wechsel sehr schnell auf einander folgen zu lassen: hier bringt ein Wechsel zwar nur eine mässige Wirkung hervor; durch sehr leichte und *schnelle* Folge der Wechsel wird aber mehr gewonnen, als durch das Verzichten auf einen Theil der inducirenden Kraft verloren wird. Die *Schiebung* der Drahtrolle *über* den Magneten (bis zur Mitte), welche zur Vermehrung der Wirkung *eines* Wechsels dient, hindert *dort* die *Schnelligkeit* der Wechsel; die blosse *Drehung* der Drahtrolle *vor* dem Magnet, welche zur Beschleunigung der Wechsel dient, hindert *hier* die grösste Wirkung *eines* Wechsels zu erreichen. Ein Induktor, der beiderlei Vorzüge ohne die Nachtheile verbände, lässt sich nicht darstellen, ausser wenn statt der Drehung der Drahtrolle vor den Magneten die *Drehung der Magnete*

*vor der Drahtrolle* gestattet wird, wo dann aber keine so *grosse* Magnete gebraucht werden können. Es möge hier noch mit einigen Worten angedeutet werden, wie man im letzteren Falle das vorgesetzte Ziel wirklich erreichen könne.

In der That, wenn man die ganze inducirende Kraft des Magnetes benutzt, ist man schon mit *kleineren* Magneten im Stande, eben so grosse Wirkungen, wie sonst mit grösseren, zu erreichen, und es fällt dann der Grund weg, warum man lieber die Induktorrolle vor dem Magnet, als umgekehrt, dreht. Alsdann kann man mit grösserem Vortheile die umgekehrte Drehung, des Magneten vor der Induktorrolle, auf folgende Weise in Ausführung bringen.

Fig. 5 *ns* und *n′s′* sind zwei gleichmässig gekrümmte Magnetstäbe, die zusammen mit zwei eben so gekrümmten unmagnetischen Stäben (von Holz oder Messing) einen festen Ring bilden. Um diesen Ring geht ein Schnurlauf *abcdef*, welcher durch das Rad *R* gedreht wird. Wird dieser Schnurlauf so gespannt, dass er den Ring schwebend erhält, so lässt sich dieser Ring ohne alle Friktion (an den Wänden einer ihn umschliessenden festen Röhre) mit grosser Geschwindigkeit drehen. Durch die so gedreheten Magnete werden galvanische Ströme in jedem um die Röhre gewundenen Leitungsdraht inducirt, z. B. in den Rollen *A, B, C, D*. Es ist leicht, mit jener Drehung eine solche Kommutation zu verbinden, dass die Ströme in der übrigen Kette sich immer verstärken. — Dieser Apparat kommt im Wesentlichen (was nämlich die Benutzung und Erschöpfung der inducirenden Kraft des Magnetes betrifft) ganz mit dem S. 114 beschriebenen überein, nur dass hier der Magnet statt der Induktorrolle bewegt wird, und dass die geradlinige Schiebung mit einer Kreisbewegung vertauscht worden ist.

Es werde hiermit die Betrachtung der Induktoren beschlossen, welche blos den Zweck hatte, eine Quelle von Strömen genauer kennen zu lernen, die nach sicheren Regeln beherrscht werden kann. Im Verlaufe der künftig zu beschreibenden galvanischen Versuche, wird sich Gelegenheit bieten, diese Betrachtungen zu erweitern, z. B. Induktoren zu untersuchen, durch welche fortdauernde Ströme *ohne Kommutation* hervorgebracht werden, oder durch welche der *Erdmagnetismus* am stärksten inducirt.

*W.*

IX.

# Beweglichkeit des Magnetismus im weichen Eisen.

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1838, VI, S. 118—134.]

---

Es ist bekannt, dass zwei Stücke Eisen in ihren magnetischen Eigenschaften sehr verschieden sein können, ohne dass andere Verschiedenheiten an ihnen wahrgenommen werden. Sie verhalten sich darin ähnlich wie Stahl, wovon manche Stücke oder Stäbe kaum halb so viel Magnetismus wie andere annehmen, selbst dann, wenn beide, von derselben Stahlsorte, gleiche Form haben und auf einerlei Weise gehärtet worden sind. Wie es daher nicht möglich ist, für Stahl *überhaupt* ein bestimmtes Maass Magnetismus anzugeben, das er festzuhalten fähig sei, eben so wenig lässt sich auch für Eisen *überhaupt* ein bestimmtes Maass des Widerstandes festsetzen, den der Magnetismus darin fände; denn jedes Stück hat ein anderes Maass. Wenn gleich aber, der Natur der Sache nach, in Beziehung auf Magnetismus, von einem Stück auf andere nicht geschlossen werden darf, und also Bestimmungen von einzelnen Stücken zu keinen *allgemeinen* Resultaten führen können, so sind sie doch als *Beispiele* sehr wichtig. Bei der grossen Menge von Messungen, die mit Stahlmagneten gemacht worden sind, fehlt es in Beziehung auf den *Stahl* an solchen Beispielen nicht, wonach im Durchschnitt auf ein Milligramm eines stark magnetischen Stabes, von der prismatischen Form der früher beschriebenen Magnetometerstäbe, wo sich Dicke, Breite und Länge etwa wie 1 : 4 : 64 verhalten, ungefähr 400 Maass freien Magnetismus kommt. Anders verhält es sich mit dem *Eisen,* womit seltener magnetische Versuche gemacht werden, und wobei es schwer ist, auch blos für *ein* Stück von der Bewegung des Magnetismus im Innern etwas zu erfahren. Für das Eisen fehlt es daher noch gänzlich an solchen Bestimmungen. Und doch hat eine solche Bestimmung der Beweglichkeit des Magnetismus im Eisen grosses Interesse, darum, weil sie 1. dazu dient, vom Nutzen eiserner Vorlagen und Armirungen der Magnete, 2. von dem durch galvanische Ströme im benachbarten Eisen frei werdenden Magnetismus, worauf die Anziehungskraft der Elektromagnete beruht, Rechenschaft zu geben. Hierzu

kommt 3. noch der Grund, warum dieser Gegenstand für uns jetzt, nachdem wir die Rotationsinduktoren näher untersucht haben, besonderes Interesse gewonnen hat, nämlich weil darauf die vortheilhafte Verwendung des Eisens in Rotationsinduktoren beruht, wovon S. 124 die Rede gewesen ist. Man versieht nämlich bei Rotationsinduktoren die Drahtrolle, welche vor den Magneten gedreht wird, mit einem Kern von weichem Eisen, welcher mit gedreht wird, und worin durch den Einfluss der Magnete, vor denen die Drehung geschieht, der Magnetismus fortwährend bewegt wird, bald vorwärts, bald rückwärts, so dass das Eisen, in Folge dieser Bewegungen des Magnetismus in seinem Innern, einen Magneten darstellt, dessen Pole bei jeder halben Umdrehung umgekehrt werden. Von dem Dienste, den das Eisen in solchen Rotationsinduktoren leistet, ist man nur dann im Stande, Rechenschaft zu geben, wenn man sich nähere Kenntniss von dem Grade der Beweglichkeit des Magnetismus in dem gebrauchten Stück Eisen verschafft. Umgekehrt aber können die vorhandenen Rotationsinduktoren und deren Wirkungen, wenn sie genau gemessen werden, dazu dienen, um jene Beweglichkeit des Magnetismus im Eisen zu erforschen. Diese Methode soll hier angewandt werden: sie zeichnet sich dadurch aus, dass die Versuche sehr einfach sind, und mannigfache interessante Folgerungen gestatten. Man bedarf dazu, ausser einem zu galvanischen Versuchen eingerichteten Magnetometer, blos einen kleinen Rotationsinduktor, wo die Einrichtung getroffen sein muss, dass das zu untersuchende Stück Eisen leicht in den Induktor gebracht und wieder herausgenommen, und der Induktor selbst mit verschiedener *messbarer* Geschwindigkeit gleichförmig gedreht werden kann.

Nach einer kurzen Beschreibung des von mir gebrauchten Apparates werde ich die damit gemachten Versuche und die daraus zu ziehenden Folgerungen zusammenstellen.

### 1. *Beschreibung des Apparates.*

1. *Ein Stück weiches Eisen* in Form eines Cylinders von 71 Millimeter Höhe und 29 Millimeter Durchmesser. Es passt in eine cylindrische Röhre, welche mitten durch eine Holzkugel gebohrt ist, und kann leicht hineingesteckt und herausgezogen werden. Die Kugel hat 100 Millimeter Durchmesser. Die Röhre ist an ihrem einen Ende ganz verschlossen, am anderen kann sie durch eine Schraube bald verschlossen bald geöffnet werden, um den darin befindlichen Eisencylinder fest einzuschliessen oder herauszunehmen.

2. *Die Induktorrolle.* Jene Holzkugel, welche die Büchse des Eisencylinders bildet, dient auch als Induktorrolle. Es ist nämlich eine

Hohlkehle in die Kugel eingedreht, welche um den in der Büchse befindlichen Eisencylinder einen Ring bildet: diese Hohlkehle ist mit Windungen von feinem übersponnenen Kupferdraht erfüllt. Die Hohlkehle ist 50 Millimeter breit und 20 Millimeter tief: darin sind 3600 Umwindungen.

3. *Die Drehungsaxe mit Kommutator.* An einem die Hohlkehle umschliessenden Ringe ist die Drehungsaxe und der Kommutator angebracht. An zwei diametral einander gegenüber liegenden Stellen dieses Ringes ist einerseits ein runder Stift mit einem Kranze von 7 Zähnen, andererseits ein kurzer dicker Messingcylinder befestigt. Die Axe beider geht durch den Mittelpunkt der Kugel, und dient als Drehungsaxe. Der dicke Cylinder versieht zugleich den Dienst eines Kommutators: er ist der Länge nach durchschnitten, und seine beiden Hälften sind, nachdem eine isolirende Glasplatte zwischen sie gelegt worden, wieder zusammen gekittet. Zwei diametral einander gegenüber liegende Punkte seiner Oberfläche werden endlich von zwei Messingfedern berührt, an welche die Drahtenden des Multiplikators befestigt sind. Die Drahtenden des Induktors sind mit den beiden isolirten Hälften des Messingcylinders fest verbunden. Man sieht leicht, wie auf diese Weise eine regelrechte Kommutation bewirkt wird.

4. *Das Getriebe.* In die 7 Zähne der Induktoraxe greift ein Rad mit 40 Zähnen ein, welches durch eine Kurbel gedreht wird. Es ergiebt sich hieraus, dass der Induktor 40 Umdrehungen macht, während die Kurbel 7 mal gedreht wird.

5. *Die inducirenden Magnete.* Es wurden dazu Bündel gebraucht, deren jeder aus 3 vierpfündigen Stäben bestand.

6. *Das Magnetometer.* Es wurde das Bifilarmagnetometer der hiesigen Sternwarte gebraucht, dessen Stab, in transversaler Lage, eine Schwingungsdauer von 60 Sekunden hatte. Zur Erleichterung der Beobachtung war das Magnetometer mit Dämpfer versehen.

### 2. *Versuche.*

Die Versuche konnten nur von zwei Beobachtern ausgeführt werden, weil der Rotationsinduktor in einem anderen Saale als das Magnetometer aufgestellt werden musste. Die folgenden Versuche habe ich mit Herrn Dr. Wappäus, der an den magnetischen Beobachtungen in Göttingen mehrmals Theil genommen hat, ausgeführt.

Wir haben drei Reihen von Versuchen gemacht, wobei der Induktor abwechselnd mit oder ohne Eisen gebraucht wurde, um den Einfluss des Eisens zu finden, nämlich:

1. wurde gar kein Magnet gebraucht, sondern die Erde inducirte allein, und zwar der *vertikale* Theil des Erdmagnetismus;

2. wurden die beiden Bündel vierpfündiger Stäbe so fern gestellt, dass sie nur *schwach* induciren konnten;

3. wurden diese Bündel dem Induktor so nahe gerückt, dass sie sehr *stark* induciren mussten.

Beispielsweise sollen die ersten Versuche ausführlich gegeben, die anderen aber blos tabellarisch zusammengestellt werden. Die Induktion war dort am kleinsten (weil blos die Erde inducirte), und die Messung darum sehr schwer; man kann daher am besten hieraus sehen, wie gut und genau die Methode ist.

*Induktion der Erde.*

*Induktor ohne Eisen; 40 Umdrehungen in 7 Sekunden.*

| Drehung. | Ablesung. | | | | Stand. | | | Mittel. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *a* | *b* | *c* | *d* | *e* | *f* | *g* | |
| | 747,0 | 756,0 | 750,9 | 753,5 | 753,0 | 752,6 | 752,6 | |
| vorwärts | 748,5 | 755,0 | 751,3 | 753,0 | 752,8 | 752,5 | 752,4 | 752,67 |
| | 751,0 | 753,7 | 752,3 | 752,8 | 752,8 | 752,8 | 752,6 | |
| | 753,5 | 752,3 | 753,0 | 752,2 | 752,7 | 752,8 | 752,5 | |
| | 755,4 | 751,3 | 753,5 | 752,0 | 752,7 | 752,8 | 752,5 | |
| | 889,0 | 890,0 | 890,0 | 887,3 | 889,7 | 890,0 | 888,2 | |
| | 886,0 | 891,0 | 888,9 | 888,2 | 889,3 | 889,6 | 888,4 | |
| rückwärts | 884,5 | 891,3 | 888,0 | 889,0 | 889,0 | 889,1 | 888,7 | 888,95 |
| | 884,5 | 891,4 | 887,5 | 888,5 | 889,1 | 888,8 | 888,2 | |
| | 886,0 | 891,2 | 887,6 | 887,9 | 889,5 | 888,8 | 887,8 | |
| | 750,0 | 745,3 | 748,3 | 747,3 | 746,9 | 747,3 | 747,6 | |
| | 747,6 | 747,0 | 748,0 | 747,5 | 747,2 | 747,7 | 747,7 | |
| vorwärts | 745,4 | 748,0 | 747,3 | 747,3 | 747,1 | 747,5 | 747,3 | 747,29 |
| | 744,0 | 748,8 | 747,0 | 747,2 | 747,2 | 747,6 | 747,1 | |
| | 743,3 | 748,9 | 746,3 | 747,3 | 747,0 | 747,2 | 747,0 | |
| | 875,0 | 884,8 | 880,0 | 881,3 | 881,5 | 881,6 | 880,9 | |
| | 876,3 | 883,8 | 880,2 | 882,2 | 881,3 | 881,4 | 881,5 | |
| rückwärts | 879,0 | 882,5 | 881,0 | 883,0 | 881,3 | 881,5 | 882,3 | 881,53 |
| | 881,5 | 881,2 | 881,5 | 883,0 | 881,3 | 881,4 | 882,5 | |
| | 883,5 | 880,1 | 881,5 | 882,5 | 881,2 | 881,0 | 882,2 | |
| | 750,0 | 743,0 | 747,3 | 745,5 | 745,3 | 745,9 | 746,1 | |
| | 752,3 | 742,0 | 748,0 | 745,0 | 745,5 | 746,0 | 746,0 | |
| vorwärts | 752,5 | 741,6 | 748,0 | 745,0 | 745,2 | 745,9 | 746,0 | 745,78 |
| | 751,0 | 742,2 | 747,9 | 745,0 | 745,1 | 746,0 | 746,0 | |
| | 748,4 | 744,0 | 747,6 | 745,1 | 745,5 | 746,4 | 745,9 | |

Die *erste* Kolumne giebt die Richtung der Drehung an, wovon es abhängt, ob das Magnetometer auf einen niederen oder höheren Stand gelenkt wird. Die *zweite* Kolumne giebt die in bestimmten Augenblicken gemachten Ablesungen des Magnetometers. Die Ablesungen unter *a* wurden von 10 zu 10 Sekunden gemacht, die unter *b*, 60 Sekunden

später als die unter *a*, die unter *c*, 60 Sekunden später als die unter *b*, und die unter *d* wieder 60 Sekunden später als die unter *c*. Die *dritte* Kolumne giebt die aus den Ablesungen berechneten Magnetometerstände. Bei ihrer Berechnung musste der Einfluss des Dämpfers berücksichtigt werden, wonach die letztere von zweien um die Schwingungsdauer, oder 60 Sekunden, von einander abstehenden Ablesungen der ersteren statt um die halbe Differenz nur um ein Drittel genähert wurde. Es ist daher

$$e = b + {}^1/_3\,(a - b),\quad f = c + {}^1/_3\,(b - c),\quad g = d + {}^1/_3\,(c - d).$$

Die *vierte* Kolumne giebt das Mittel aus den berechneten Magnetometerständen. Stellt man die 5 in der letzten Kolumne enthaltenen Mittel der Reihe nach unter einander, und schreibt die halben Summen je zweier daneben, wie folgt:

| | |
|---|---|
| 752,67 | |
| | 820,81 |
| 888,95 | |
| | 818,12 |
| 747,29 | |
| | 814,41 |
| 881,53 | |
| | 813,65 |
| 745,78 | |

so lernt man daraus die Variationen der Intensität des Erdmagnetismus während der Beobachtungen kennen; schreibt man dagegen die halben Differenzen daneben, und nimmt die Mittel von je zwei solchen Differenzen, wie in der folgenden Tabelle geschehen ist, so erhält man die Ablenkung des Magnetometers durch den inducirten Strom, so berechnet, dass der Einfluss der Variationen des Erdmagnetismus möglichst ausgeschlossen ist. Diese Ablenkung bedarf noch einer kleinen Korrektion, wenn sie als Maass des durch den Multiplikator gehenden galvanischen Stromes dienen soll, die sich leicht ergiebt, wenn man weiss, dass die Skale auf eine durch ihren 1000. Theilstrich und durch die vertikale Drehungsaxe des Magnetometers gelegte Ebene senkrecht steht[1]). Die so korrigirten Maasse sind in den folgenden Tafeln mit grossen Buchstaben *A*, *B*, *C* . . . bezeichnet worden. In der ersten dieser Tafeln sind die Resultate der eben beschriebenen Versuche, in den übrigen die Resultate aller anderen auf dieselbe Weise ausgeführten Versuche, die keiner weiteren Beschreibung bedürfen, zusammen gestellt.

---

[1]) *a* bezeichne den vom Erdmagnetismus abhängigen Stand des Magnetometers, *b* die Ablenkung durch den inducirten Strom, *R* den Horizontalabstand des Spiegels von der Skale. Man setze $1000 - a + b = R \operatorname{tang} v_0$, $1000 - a - b = R \operatorname{tang} v_1$; so ist das gesuchte Maass $= 2\,R \operatorname{tang} \frac{v_0 - v_1}{4}$. Z. B. in obigen Versuchen ist $a = 816{,}75$, $b = 68{,}65$, $R = 5000$; folglich $v_0 = 2^0\,53'\,2''\,84$, $v_1 = 1^0\,18'\,46''\,76$, woraus

$$2\,R \operatorname{tang} \frac{v_0 - v_1}{4} = 68{,}55 \text{ folgt.}$$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| I. Induktion der *Erde*.<br>Induktor *ohne* Eisen.<br>40 Umdrehungen in 7 Sek. | 752,67<br>888,95<br>747,29<br>881,53<br>745,78 | 68,14<br>70,83<br>67,12<br>67,87 | 69,48<br>68,97<br>67,50 | $A =$ 68,55 |
| II. Indukt. *ferner*[1]) Stabmagnete.<br>Induktor *ohne* Eisen.<br>20 Umdrehungen in 7 Sek. | 727,21<br>1019,25<br>729,26 | 146,02<br>145,00 | 145,51 | $B =$ 145,55 |
| | 740,62<br>1032,77<br>741,59 | 146,07<br>145,53 | 145,83 | |
| III. Induktion *ferner* Stabmagnete.<br>Induktor *ohne* Eisen.<br>40 Umdrehungen in 7 Sek. | 599,65<br>1182,30<br>600,41<br>1181,62<br>594,06 | 291,33<br>290,94<br>290,60<br>293,78 | 291,13<br>290,77<br>292,19 | $C =$ 290,99 |
| IV. Induktion *ferner* Stabmagnete.<br>Induktor *mit* Eisen.<br>20 Umdrehungen in 7 Sek. | 545,30<br>1223,87<br>546,07 | 339,28<br>338,90 | 339,09 | $D =$ 339,47 |
| | 536,58<br>1222,16<br>544,04<br>1225,96<br>547,12 | 342,79<br>339,06<br>340,96<br>349,42 | 340,92<br>340,01<br>340,19 | |
| V. Induktion *ferner* Stabmagnete.<br>Induktor *mit* Eisen.<br>40 Umdrehungen in 7 Sek. | 265,55<br>1538,17<br>260,27<br>1538,67<br>269,09 | 636,31<br>638,95<br>639,20<br>634,79 | 637,63<br>639,07<br>637,00 | $E =$ 635,72 |
| VI. Induktion *naher*[2]) Stabmagnete.<br>Induktor *ohne* Eisen.<br>20 Umdrehungen in 7 Sek. | 1055,89<br>653,01<br>1065,93 | 201,44<br>206,46 | 203,95 | $F =$ 203,70 (*m*). |
| VII. Induktion *naher* Stabmagnete.<br>Induktor *mit* Eisen.<br>20 Umdrehungen in 7 Sek. | 1389,19<br>332,37<br>1385,59 | 528,41<br>526,61 | 527,51 | $G =$ 525,63 (*m*). |
| VIII. Induktion *naher* Stabmagnete.<br>Induktor *mit* Eisen.<br>40 Umdrehungen in 7 Sek. | 851,98<br>861,45<br>863,18 | 856,72<br>862,31 | 1763,87 907,15<br>1767,39 905,08 | $H =$ 900,71 (*m*). |

[1]) Zwischen den beiden Bündeln von Stabmagneten war 915 Millimeter Zwischenraum gelassen, in dessen Mitte der Induktor stand.

[2]) Zwischen den beiden Bündeln von Stabmagneten war 117 Millimeter Zwischenraum gelassen, in dessen Mitte der Induktor stand.

In Beziehung auf die unter VI, VII und VIII zusammen gestellten Versuche, wo die Magnete dem Induktor sehr nahe waren, ist zu bemerken, dass die inducirten Ströme zu stark waren, um mit dem Magnetometer eben so wie früher gemessen zu werden: die Magnetometerskale reichte zu dem Zwecke nicht hin. Es wurde daher bei diesen Versuchen nicht der ganze Strom durch den Multiplikator geleitet, sondern durch eine Theilung des Stromes bewirkt, dass nur ein kleiner Theil desselben durch den Multiplikator ging, während der grössere Theil auf einem kürzeren Wege seinen Kreislauf vollendete. Dadurch wurde der Ausschlag messbar, aber der Werth der Skalentheile $m$ mal grösser, wo $m$ eine Konstante ist, welche durch besondere Versuche ermittelt werden musste. Um die Resultate dieser drei letzten Versuchsreihen mit denen der früheren vergleichbar zu machen, müssen sie daher mit $m$ multiplicirt werden, wie bei $F$, $G$ und $H$ angedeutet worden ist. Zur Bestimmung des Werthes von $m$ musste der Widerstand verglichen werden, welchen der Strom auf dem Wege durch den Induktor, mit dem, welchen er auf jenen beiden Wegen (durch den Multiplikator und den Hülfsdraht) fand. Da S. 114 ff. schon ein Beispiel von einer Vergleichung der Widerstände zweier Drähte, durch welche der galvanische Strom geht, ausführlich gegeben worden ist, so wird es genügen, hier blos das Resultat der Vergleichung anzuführen. Es ergab sich nämlich, dass der Widerstand des Induktors zu dem des Multiplikators wie 1113 : 2172, zu dem des Hülfdrahts aber wie 1113 : 29,663 sich verhielt. Nach bekannten galvanischen Gesetzen ergiebt sich hieraus, dass der vom Induktor ausgehende, durch den Multiplikator geleitete Strom, wenn keine Theilung Statt findet,

$$\frac{2172}{2172 + 29{,}663}\left(1 + \frac{1}{29{,}663} \cdot \frac{1113 \cdot 2172}{1113 + 2172}\right) = 25{,}46$$

mal stärker, als bei der Theilung ist. Der Werth der Skalentheile ist in letzterem Falle also 25,46 mal grösser als in ersterem, d. i. $m = 25{,}46$[1]).

---

[1]) Der vom Induktor ausgehende Strom ist nach bekannten Gesetzen mit $\frac{A}{R}$ proportional, wo $A$ die galvanomotorische Kraft, $R$ die Summe der Widerstände in allen Theilen der Kette bezeichnet, folglich in obigen Versuchen, wenn $R_0$ den Widerstand im Induktor, $R_1$ im Multiplikator, $R_2$ in dem gespaltenen Theil der Kette angiebt, im einen Falle mit $\frac{A}{R_0 + R_1}$, im anderen mit $\frac{A}{R_0 + R_2}$ proportional. Ferner ist bekannt, dass der reciproke Widerstand $\frac{1}{R_2}$ des gespaltenen Theiles der Kette der Summe $\left(\frac{1}{2172} + \frac{1}{29{,}663}\right)$ der reciproken Widerstände beider Zweige (des Multiplikators und Hülfsdrahtes) gleich ist. Fügt man endlich hinzu, dass der Strom, wo er zwei Wege findet, den reciproken Widerständen beider Wege proportional getheilt

In Beziehung auf die unter VIII zusammengestellten Versuche muss endlich noch beigefügt werden, dass selbst bei der beschriebenen Theilung des Stromes die Skale auf einer Seite doch nicht zur Messung der Ablenkung ausreichte. Um keine andere Theilung des Stromes nöthig zu haben, wurde daher die Ablenkung blos nach der anderen Seite gemessen, dabei aber der natürliche Magnetometerstand vor und nach der Ablenkung genau bestimmt. In der *ersten* Zahlenkolumne bei VIII ist der natürliche Magnetometerstand vor der ersten, zwischen der ersten und zweiten, und nach der zweiten Ablenkung bemerkt. In der *zweiten* Zahlenkolumne sind die Mittel aus den vorigen Magnetometerständen angegeben, welche für die Zeit der Ablenkung gelten. Zieht man diese von den in der *dritten* Zahlenkolumne angegebenen Magnetometerständen während der Ablenkung ab, so erhält man den Werth der einfachen Ablenkung durch den inducirten Strom, wie er in der *vierten* Zahlenkolumne angegeben ist.

### 3. *Folgerungen.*

1. Der Zeitraum, welcher zur Bildung eines galvanischen Stromes in einem eine halbe Meile langen Drahte erfordert wird, ist gegen $^7/_{80}$ Sekunde unmerklich.

Während jeder Umdrehung des Induktors fand im Induktordrahte ein zweimaliger Stromwechsel statt, folglich ein 40- oder 80maliger Stromwechsel in 7 Sekunden, wenn, wie in obigen Versuchen, 20 oder 40 Umdrehungen in dieser Zeit gemacht wurden. Bedürfte nun die Induktion einer bestimmten Zeit, d. h., verflösse ein kleiner Zeitraum, bis die bewegte Elektricität einen gleichförmigen Strom in allen Theilen der Kette bildete; so würden, bei so schnellem Stromwechsel, in 7 Sekunden 40—80 Augenblicke vorkommen, wo der Strom gar nicht oder unvollkommen gebildet wäre, und darum gar keine oder eine geringere Kraft ausübte. Wenn daher dieser Zeitraum, welcher zur Bildung eines Stromes erfordert wird, nicht sehr *klein* ist, im Vergleich mit dem Zeitraum von $^7/_{80}$ Sekunde, welcher bei der schnelleren Drehung von einem Stromwechsel zum anderen verfliesst; so müsste der Strom bei der schnelleren Drehung verhältnissmässig schwächer, als bei der langsamen, ausfallen. Bezeichnet man die Zahl der Umdrehungen in 1 Sekunde mit $n$, den Zeitraum, welcher bei jedem Wechsel über die Bildung des galvanischen Stromes verloren geht, mit $t$; so ist der Zeitraum, in welchem der galvanische Strom während 1 Sekunde im Mittel wirksam ist, $= (1 - 2nt)$, und die Wirkung selbst, mit $n\,(1-2nt)$ proportional, wächst langsamer als $n$, falls nicht $t = 0$ ist. — Obige Versuche geben nun als Maass des Stromes (in Skalentheilen des Magnetometers ausgedrückt) bei 20 Um-

---

wird; so findet man das Verhältniss der Stromstärke im Multiplikator in den obigen zwei Fällen, $= \frac{A}{R_0 + R_1} : \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{A}{R_0 + R_2} = 25{,}46 : 1$, weil $R_0 = 1113$, $R_1 = 2172$, $R_2 = \frac{1113 \cdot 2172}{1113 + 2172}$ ist. Umgekehrt wie diese Stromstärken (bei gleicher Induktion) verhält sich der Werth der Skalentheile, woraus $m = 25{,}46$ folgt, wie oben angegeben worden ist.

drehungen in 7 Sekunden die Zahl $B = 145{,}55$, bei 40 Umdrehungen in 7 Sekunden die Zahl $C = 290{,}99$. Es verhalten sich also die Ströme wie $B : C = 145{,}55 : 290{,}99$ fast genau wie die Drehungsgeschwindigkeiten, wie $\frac{20}{7} : \frac{40}{7}$; folglich muss die Zeit $t$, welche zur Bildung des galvanischen Stromes in dem zu diesen Versuchen gebrauchten, fast eine halbe Meile langen, Induktor- und Multiplikatordrahte erfordert wird, gegen die Dauer eines Wechsels bei diesen Versuchen, d. i. gegen $^7/_{80}$ Sekunde, unmerklich sein, wie oben angegeben worden ist.

### 2. Der Magnetismus im weichen Eisen braucht längere Zeit, um bei Umkehrung der Pole die neue Gleichgewichtslage anzunehmen, als die Elektricität im Kupferdraht, um beim Stromwechsel die entgegengesetzte Bewegung.

Ein anderes Resultat, als das eben gefundene, ergiebt sich, wenn wir die Versuche betrachten, wo ausser der *unmittelbaren* Induktion der Erde oder der Stabmagnete durch ein in die Induktorrolle eingelegtes Stück Eisen eine *mittelbare* Induktion Statt fand. Bei so schnellem Stromwechsel wie oben, findet sich dann die Wirkung *der Zahl der Umdrehungen nicht proportional.* Sie sollte ihr aber proportional sein, wenn der Magnetismus im Eisen nicht mehr Zeit brauchte, um bei Umkehrung der Pole die neue Gleichgewichtslage, als die Elektricität im Kupferdraht, um beim Stromwechsel die entgegengesetzte Bewegung anzunehmen. Wenn also jene Proportionalität nicht gefunden wird, so muss das Gegentheil daraus geschlossen werden, wie es oben ausgesprochen worden ist. — Wirklich sahen wir, dass in obigen Versuchen, als der Induktor einen Kern von weichem Eisen enthielt, die Intensität $E$ des inducirten Stromes bei verdoppelter Drehungsgeschwindigkeit nicht ganz das Doppelte von der Intensität $D$ bei einfacher Drehungsgeschwindigkeit war, sondern $D : E = 339{,}47 : 635{,}72$, d. i. nahe wie $8 : 15$, statt $8 : 16$, sich verhielt.

### 3. Die Herstellung des magnetischen Gleichgewichtes nach einer grösseren Störung erfordert mehr Zeit, als nach einer geringeren.

Wenn man weiss, dass die Herstellung des magnetischen Gleichgewichtes im weichen Eisen nach einer *plötzlichen Störung* eine zwar kurze, aber doch merkliche und messbare Zeit erfordert; so bietet sich die interessante Frage dar, ob diese Zeit mit der *Grösse* der Störung wachse oder davon unabhängig sei. In den oben betrachteten Versuchen fand nämlich nur eine *geringe* Störung des magnetischen Gleichgewichtes im Eisen statt, weil die Magnete, welche sie hervorbrachten, sehr *fern* von dem Eisen lagen, nämlich $457^1/_2$ Millimeter. Diese Störung wurde aber viel *grösser*, als die Magnete dem Eisen näher gerückt wurden: sie wurden bis auf $58^1/_2$ Millimeter genähert. Darum ist es interessant, die Zunahme des Stromes durch Beschleunigung der Drehung in beiden Fällen mit einander zu vergleichen. In jenem Falle war sie $\frac{E-D}{D} = \frac{296{,}25}{339{,}47}$, d. i. nahe $^7/_8$; in diesem Falle betrug sie $\frac{H-G}{G} = \frac{375{,}08}{525{,}63}$, d. i. nahe $^5/_7$. Die Zunahme des Stromes durch Beschleunigung der Drehung ergiebt sich also bei der letzteren oder grösseren Störung viel kleiner, als bei der ersteren geringeren Störung, was blos daraus zu erklären ist, dass, wie oben ausgesprochen ist, die Herstellung des magnetischen Gleichgewichtes nach einer grösseren Störung mehr Zeit, als nach einer geringeren erfordert, und diese Zeit dem Magnetismus bei der schnelleren Drehung nicht gelassen wurde, weshalb das magnetische Gleichgewicht, welches der stärkeren Einwirkung der näher liegenden Magnete ent-

spricht, nicht völlig hergestellt werden konnte, nicht einmal in dem Grade, wie bei gleicher Drehungsgeschwindigkeit dasjenige, welches der schwächeren Einwirkung der ferner liegenden Magnete entspricht. — Die Frage, ob die zur Herstellung des magnetischen Gleichgewichtes in weichem Eisen nach einer augenblicklichen Störung erforderliche Zeit nach Maassgabe der Störung verschieden sei, ist besonders darum interessant, weil dadurch einiges Licht über eine sonst ganz unentschiedene Frage verbreitet werden kann, nämlich ob die Vergrösserung des *magnetischen Momentes* (des Produktes der geschiedenen Menge von Magnetismus in seine Scheidungsweite) in einem Stück weichen Eisens davon herrühre, dass *mehr* Magnetismus geschieden wird, oder davon, dass die *Scheidungsweite* des schon geschiedenen Magnetismus vergrössert wird. Dass nämlich im letzteren Falle zu einer grösseren Aenderung des magnetischen Momentes mehr Zeit erfordert werden würde, leuchtet von selbst ein, was im ersteren Falle nicht Statt findet.

4. Die Scheidung des Magnetismus im weichen Eisen bei jedem Wechsel oder halben Umdrehung vor den *fern* liegenden Magneten verhielt sich bei einfacher und doppelter Drehungsgeschwindigkeit, wie 1 : 0,89; vor den *nahe* liegenden Magneten, wie 1 : 0,765.

Die in obigen Tabellen zusammengestellten Versuche sind theils *mit* theils *ohne* Eisen gemacht worden. Im *ersteren* Fall fand eine *zweifache* Induktion Statt, sowohl von Seiten der Magnete, als auch des eingelegten Eisens; im *letzteren* Fall fand nur die *einfache* Induktion der Magnete Statt. Subtrahirt man die letztere von der ersteren, so giebt der Rest die Induktion, welche im ersteren Falle *unmittelbar* vom Eisen ausgegangen war (*mittelbar* war sie auch von den Magneten ausgegangen, welche den Magnetismus im Eisen bewegten). Da diese Induktion der Bewegung des Magnetismus im Eisen proportional ist, so kann sie zur Erforschung dieser Bewegung benutzt werden. Die folgende Tafel giebt in der *ersten* Kolumne den Abstand der Magnete in Millimetern von der Mitte des Induktors, in der *zweiten* die Zahl der Umdrehungen in 7 Sekunden, in der *dritten* die Induktion *mit* Eisen, in der *vierten* die Induktion *ohne* Eisen, in der *fünften* den Unterschied der beiden letzteren, oder die *Induktion des Eisens.*

| Abstand der Magnete. | Zahl der Umdrehungen. | Induktion mit Eisen. | Induktion ohne Eisen. | Induktion des Eisens. |
|---|---|---|---|---|
| 457,5 | 20 | $D = 339{,}47$ | $B = 145{,}55$ | 193,92 |
| 457,5 | 40 | $E = 635{,}72$ | $C = 290{,}99$ | 344,73 |
| 58,5 | 20 | $G = 525{,}63\ (m)$ | $F = 203{,}70\ (m)$ | 321,93 $(m)$ |
| 58,5 | 40 | $H = 900{,}71\ (m)$ | $2F = 407{,}40\ (m)$ | 493,31 $(m)$ |

Hieraus ergiebt sich, was die unmittelbare Induktion des weichen Eisens für sich *allein* betrifft, welche die letzte Kolumne kennen lehrt, dass sie bei grösserem Abstande der Magnete, und folglich kleineren Störungen des magnetischen Gleichgewichtes, für einfache und doppelte Drehungsgeschwindigkeit sich verhielt wie 193,92 : 344,73 = 1 : 1,78, folglich *für einen Wechsel* wie 1 : 0,89; bei kleinerem Abstand der Magnete, und folglich grösseren Störungen des magnetischen Gleichgewichtes verhielt sich die Induktion des weichen Eisens bei einfacher und doppelter Drehungsgeschwindigkeit, wie 321,93 : 493,31 = 1 : 1,53, folglich *für einen Wechsel* wie 1 : 0,765. Die Induktion des weichen Eisens ist aber der Grösse der Bewegung des Magnetismus darin, d. i. dem Unterschiede der magnetischen Scheidung im Anfang und am Ende jedes Wechsels proportional, woraus sich für die Scheidung selbst das oben ausgesprochene Resultat ergiebt.

5. Wir haben eine vierfache Scheidung des Magnetismus im weichen Eisen kennen gelernt, weil die Scheidung bei verschiedener *Entfernung* der Magnete, vor denen die Drehung geschah, und bei verschiedener *Geschwindigkeit* der Drehung verschieden war, nämlich:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *a* bei grosser Entfernung und | geringer Geschwindigkeit | (IV) |
| *b* „ „ „ „ | grosser „ | (V) |
| *c* „ geringer „ „ | geringer „ | (VII) |
| *d* „ „ „ „ | grosser „ | (VIII) |

Die *absolute* Grösse dieser Scheidungen lässt sich aus unseren Versuchen nicht bestimmen, doch lässt sich ihre Wirkung auf die Induktorrolle mit der Wirkung, welche bekannte magnetische Kräfte auf die nämliche Induktorrolle haben würden, vergleichen. In ihrer inducirenden Wirkung auf die Induktorrolle äquivalirt nämlich

| die Scheidung | absoluten Maassen von Erdmagnetismus | oder absoluten Maassen von Stabmagnetismus im Mittelpunkte der Induktorrolle |
|---|---|---|
| *a* | 24,78 | 669 000 |
| *b* | 22,03 | 595 000 |
| *c* | 1047,3 | 28 280 000 |
| *d* | 802,4 | 21 660 000 |

Aus der gemessenen Induktion des Eisens allein kann weder die vollständige *Vertheilung* des freien Magnetismus im Eisen und deren Veränderungen während der Drehung, noch auch das *magnetische Moment* des Eisens und dessen Veränderungen ermittelt werden. Es würden dazu Beobachtungen in verschiedenen und grösseren Entfernungen nöthig sein. Wenn man aber auch den Magnetismus selbst, der im Eisen geschieden wird, nicht genau bestimmen kann; so lässt sich doch die gemessene Induktionswirkung dieser Scheidung auf die gebrauchte Induktorrolle mit der Wirkung bekannter magnetischer Kräfte auf die nämliche Induktorrolle vergleichen. Z. B. lässt sich angeben, wie viel Erdmagnetismus (nach absolutem Maass) in der Wirkung auf die Induktorrolle dem Eisenmagnetismus äquivaliren würde, oder wie viel Stabmagnetismus (nach absolutem Maasse und in einem bestimmten Punkte, z. B. im Mittelpunkte der Induktorrolle, concentrirt). Diese Vergleichungen können, so lange man die nämliche Induktorrolle gebraucht, die Stelle absoluter Bestimmungen vertreten.

Die *erste* Vergleichung ist sehr leicht auszuführen, weil wir die Induktion der Erde, deren Magnetismus wir nach absolutem Maasse kennen, unmittelbar gemessen haben. Der *vertikale* Theil des Erdmagnetismus (den wir in Göttingen nach absolutem Maass $= 1{,}7842 \tang 67^0 50' = 4{,}3793$ setzen können [siehe S. 103 und Resultate 1837, S. 96[1])]) inducirte in unserer Induktorrolle, bei 40 Umdrehungen in 7 Sekunden, einen Strom, dessen Maass $A = 68{,}55$ (in den Versuchen I) gefunden worden ist. Bei 20 Umdrehungen in 7 Sekunden würde, nach S. 140, dieses Maass halb so gross $= 34{,}275$ gefunden worden sein. Hiermit ist nun das Maass der vom Eisen inducirten Ströme unmittelbar vergleichbar, die der Reihe nach $= 193{,}92$, $= 344{,}73$, $= 321{,}93\,(m)$, $= 493{,}31\,(m)$ gefunden worden sind. Das erste und dritte galt für 20 Umdrehungen in 7 Sekunden, und ist daher mit dem Maasse 34,275 vergleichbar, so wie das zweite und vierte.

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 88.]

welches für 40 Umdrehungen galt, mit dem Maasse 68,55. Hieraus ergiebt sich der Erdmagnetismus nach absolutem Maasse,

welcher der Scheidung $a$ äquivalirt $= \frac{193,92}{34,275} \cdot 4,3793 = 24,78$

$b$ „ $= \frac{344,73}{68,55} \cdot 4,3793 = 22,03$

$c$ „ $= \frac{321,93 \cdot 25,46}{34,275} \cdot 4,3793 = 1047,3$

$d$ „ $= \frac{493,31 \cdot 25,46}{68,55} \cdot 4,3793 = 802,4,$

wo für $m$ nach S. 138 sein Werth 25,46 gesetzt worden ist.

Die *zweite* Vergleichung mit einer in absolutem Maass gegebenen Quantität Stabmagnetismus, welcher im Mittelpunkte der Induktorrolle concentrirt wäre, ist zwar nicht so einfach, verdient jedoch darum angeführt zu werden, weil sie, im Mangel absoluter Bestimmung, einen Näherungswerth für den Eisenmagnetismus selbst abgiebt; denn das Eisen nimmt wirklich den nächsten Raum um den Mittelpunkt der Induktorrolle ein, und es ist ausserdem bekannt, dass der in der Ebene der Induktorrolle nahe beim Mittelpunkte befindliche Magnetismus eben so stark inducirt, wie wenn er im Mittelpunkte selbst sich befände. — Diese zweite Vergleichung folgt aus der ersten, wenn man die Angaben dort mit der Zahl 27,000 multiplicirt, d. i. mit dem Kubus des in Millimetern ausgedrückten Halbmessers = 30 des Induktorringes[1]), woraus die oben angegebenen Bestimmungen folgen.

6. In dem weichen Eisen unseres Induktors wurde während einer in $^7/_{80}$ Sekunden ausgeführten Viertel-Umdrehung durch *ein* Maass Erdmagnetismus 36,000 Maass Stabmagnetismus frei. Diese Angabe ist nur als eine ungefähre zu betrachten, weil sie aus unseren Versuchen nur unter der Voraussetzung folgt, dass der im Eisen frei gewordene Magnetismus im Mittelpunkte der Induktorrolle koncentrirt sei, was nicht der Fall ist.

Aus den Versuchen unter II und IV ergiebt sich das Verhältniss der mittelbaren Induktion entfernter Magnete, durch das weiche Eisen, bei 20 Umdrehungen in 7 Sekunden, zur unmittelbaren: die unmittelbare betrug nämlich 145,55, beide zusammen 339,47; folglich das Verhältniss beider 193,92/145,55, d. i. nahe 4/3. Wenden wir dieses Verhältniss der mittelbaren Induktion zur unmittelbaren auf Erdmagnetismus an, so äquivalirt der durch 1 Maass Erdmagnetismus in unserem Eisen frei werdende Stabmagnetismus, in der Induktorrolle, $^4/_3$ Maassen Erdmagnetismus. Multiplicirt man $^4/_3$ mit dem Kubus 27,000 des Induktorhalbmessers 30; so findet man, dass der durch 1 Maass Erdmagnetismus in unserem Eisen frei werdende Stabmagnetismus, für unsere Induktorrolle, 36,000 Maassen im Mittelpunkte koncentrirten Stabmagnetismus äquivalirt, dem er unter der Voraussetzung, dass er selbst im Mittel-

---

[1]) Diese einfache Regel wird mit den übrigen Gesetzen der Induktion künftig bewiesen werden. — Der äussere Halbmesser des in der S. 134 beschriebenen Hohlkehle eingeschlossenen Induktorringes war 40 Millimeter, der innere 21,7; bei Betrachtung von Kräften, die vom Mittelpunkt aus auf diesen Ring wirken, kann man, den Gesetzen des Galvanismus gemäss, einen Ring substituiren, dessen Halbmesser sich zur Dicke (18,3) des gegebenen Ringes verhält, wie 1 zum natürlichen Logarithmus $\text{Log.}\ \frac{40}{21,7}$ des Verhältnisses beider Halbmesser, d. i. $r : 18,3 = 1 : \text{Log.}\ \frac{40}{21,7}$, woraus $r = 30$ folgt.

punkt koncentrirt sei, gleichzusetzen wäre. — Man muss sich hierbei denken, dass das weiche Eisen diesen Magnetismus nur in dem Augenblick besitzt, wo die Axe des Induktorringes in der Richtung des inducirenden Erdmagnetismus sich befindet, und dass dieser Magnetismus in dem Augenblicke, wo die Axe, von dort an gerechnet, eine Viertelumdrehung vollendet hat, ganz verschwunden ist, und dass er so abwechselnd von einer Viertelumdrehung zur anderen geschieden, vereinigt, entgegengesetzt geschieden und wieder vereinigt wird. Da 20 Umdrehungen in 7 Sekunden geschehen, so folgt hieraus, dass jene Scheidung in $^7/_{80}$ Sekunden Statt fand. — Wollte man auf dieselbe Weise mit Hülfe der Versuche unter III und V die Magnetisirung des Eisens durch 1 Maass Erdmagnetismus in halb so langer Frist berechnen, so würde man auf dieselbe Weise $\frac{344,73}{290,99} \cdot 27,000 = 32,000$ Maass finden.

7. Die Induktion, welche durch Einlegung des weichen Eisens in unseren Induktor gewonnen wird, beträgt etwa 17 mal so viel als die, welche durch Drahtwindungen anstatt des Eisens gewonnen werden könnte.

Die Induktorrolle hatte 50 Millimeter Höhe, 43,4 inneren und 80 äusseren Durchmesser. Der Eisencylinder hatte 71 Höhe und 29 Durchmesser. Hieraus ergiebt sich, dass, wenn der Raum des Eisens mit Drahtwindungen erfüllt würde, die induktorische Kraft der hinzugekommenen Windungen 1/12,42 von der ursprünglichen betragen würde[1]). Wenn aber auch die induktorische Kraft hiernach um 1/12,42 vermehrt wird, so ergiebt sich daraus nicht nothwendig eine gleiche Verstärkung des inducirten Stromes, weil dieser durch den Widerstand der hinzugekommenen Drahtwindungen etwas geschwächt wird. Nur in dem Falle, wo dieser hinzukommende Widerstand gegen den der ganzen Kette fast verschwindet, beträgt auch die Verstärkung des Stromes 1/12,42. Selbst dann ergiebt sich aus der Vergleichung dieser Verstärkung mit der durch das weiche Eisen gewonnenen, welche nach S. 143 $^4/_3$ betrug, dass letztere 49,68/3 d. i. fast 17 mal grösser ist, wie jene, was zu beweisen war.

Es lässt sich hierauf eine Bestimmung der dem Eisencylinder unseres Induktors zu gebenden Dimensionen gründen, welche für die Wirkung am vortheilhaftesten wäre: dass nämlich der Eisencylinder, statt 29, 45,6 Millimeter Durchmesser erhielte, vorausgesetzt, dass die Induktorrolle ihren äusseren Durchmesser behält, auch der Leitungsdraht unverändert bleibt, zum Induktorring davon aber so viel verwandt wird, dass der Raum bis zum Eisencylinder damit erfüllt ist[2]).

---

[1]) Die induktorische Kraft eines Ringes ist, wenn der inducirende Magnet von ferne wirkt, dem Quadrate seines Halbmessers proportional. Berechnet man hiernach die Summe der induktorischen Kräfte aller Ringe, welche den ursprünglichen und den hinzugekommenen Raum erfüllen, so findet man obiges Resultat.

[2]) Der inducirende Magnetismus des Eisencylinders werde seiner Masse oder dem Quadrate $\varrho^2$ seines Halbmessers proportional angenommen: alsdann ist seine Induktion in einer Reihe Drahtringe, deren Halbmesser von $r^0$ bis $r'$ wächst, proportional mit

$$\varrho^2 \int_{r^0}^{r'} r^{-1}\, dr = \varrho^2 \log.\text{nat.} \frac{r'}{r^0}.$$

Die unmittelbare Induktion eines von ferne wirkenden Magneten in einer Reihe Drahtringe, deren Durchmesser von $r^0$ bis $r'$ wächst, ist proportional mit $\int_{r^0}^{r'} r^2\, dr = \frac{r'^3 - r^{03}}{3}$. Hieraus ergiebt sich das Verhältniss der

8. Auch über die Magnetisirung des Eisens durch galvanische Ströme wird aus obigen Versuchen eine Bestimmung gewonnen. Der vom Erdmagnetismus in unserer Induktorrolle bei 40maliger Umdrehung in 7 Sekunden inducirte und durch einen Multiplikator von $^{2172}/_{1113}$ mal grösserem Widerstande, als der Induktor besass (siehe S. 138), geleitete Strom magnetisirt das in die Rolle eingelegte weiche Eisen 33 mal schwächer, als der Erdmagnetismus selbst.

Die Ablenkung des Magnetometers durch jenen Strom beträgt nach den Versuchen I 68,55 Skalentheile; jeder Skalentheil bedeutet den 20366. Theil der horizontalen erdmagnetischen Kraft. Vergleicht man ferner die Multiplikationskraft der Induktorrolle und des Multiplikators, so ergiebt sich aus der Zahl der Umwindungen und der Form beider (der Multiplikator hat 610 Umwindungen und bildet ein Rektangel von 1340 Millimeter Länge und 190 Millimeter Höhe, worin eine 1200 Millimeter lange Magnetnadel schwebt) jene etwa 22 mal grösser wie diese, d. h., wenn ein und derselbe Strom durch beide hindurch geht, so lenkt er eine Magnetnadel dort mehr als hierin ab, so dass die Tangente jener 22 mal grösser als die Tangente dieser Ablenkung ist. Hieraus ergiebt sich die Magnetisirung des weichen Eisens in der Induktorrolle durch einen vom Erdmagnetismus in der Induktorrolle bei 40maliger Umdrehung in 7 Sekunden inducirten Strom $= \frac{22}{\operatorname{tang} i} \cdot \frac{68,55}{20366} = \frac{1}{33}$ der unmittelbaren Magnetisirung desselben Eisens durch denselben Erdmagnetismus. $i$ bezeichnet die Inklination von $67^0\,50'$, wie sie zur Zeit der Versuche in Göttingen war.

Alle diese Resultate, welche der Reihe nach aus obigen Versuchen abgeleitet worden sind, sollen keine solche absolute Geltung haben, dass dadurch die Beweglichkeit des Magnetismus im weichen Eisen unter allen Verhältnissen bestimmt wäre; vielmehr ist schon Anfangs der Grund angegeben worden, warum eine solche absolute Bestimmung unmöglich sei. Der Zweck dieser Bestimmungen ist blos, von ganz unbekannten Grössen, die, wenn auch nicht konstant, doch in bestimmten Grenzen eingeschlossen sind, eine ungefähre Vorstellung zu geben, die bei manchen praktischen Anwendungen zur Richtschnur dienen kann. Hauptsächlich aber sollte der Weg gezeigt werden, wie man sich mit Hülfe des Magnetometers auf die einfachste Weise die nöthigen Kenntnisse von einem gegebenen Stück weichen Eisens verschaffen kann.

---

mittelbaren Induktion zur unmittelbaren, wie $a\varrho^2 \log.\,\text{nat.}\,\frac{r'}{r^0} : (r'^3 - r^{0\,3})$, wo $a$ eine zu bestimmende Konstante ist. Nach unseren Versuchen ist aber für $r^0 = 21,7$, $r' = 40$ und $\varrho = 14,5$ jenes Verhältniss $= {}^4/_3$ (siehe S. 143) gefunden worden, woraus $a = 557,7$ sich ergiebt. Sollen nun die kleinsten Drahtwindungen den Eisencylinder dicht umschliessen, so muss $\varrho = r^0$ gesetzt werden. Alsdann ist die *ganze* Induktion proportional mit $(a r^{0\,2} \log.\,\text{nat.}\,\frac{r'}{r^0} + r'^3 - r^{0\,3})$; folglich am grössten, wenn $r^0$ denjenigen Werth erhält, für welchen jener Ausdruck ein Maximum ist. Dies ist bei unserem Induktor der Fall, wenn $r^0 = 22,8$ Millimeter, folglich der Durchmesser des Eisencylinders 45,6 Millimeter beträgt, wie oben angegeben worden ist.

*W.*

X.

# Erläuterungen zu den Terminszeichnungen und den Beobachtungszahlen.[1])

[Im Auszuge.]

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1838, VII, p 135—145.]

---

Die korrespondirenden magnetischen Beobachtungen in den sechs Terminen, die seit dem Jahre 1834 (siehe POGGENDORFF's Annalen XXIII. 432) festgesetzt sind, zeigen auch im Jahre 1838 wieder neue Fortschritte und Erweiterungen. Abgesehen davon, dass für sechs Termine mehr Beobachtungen (88 Reihen) eingelaufen sind, als im vorigen Jahre für sieben (80 Reihen), ist es ein grosser Fortschritt, dass in diesem Jahre zuerst an *mehreren* Orten die bisher auf die Deklination beschränkten Beobachtungen über die *horizontale Intensität* ausgedehnt worden sind. Die Deklinations- und Intensitätsbeobachtungen leisten in ihrer Vereinigung so viel mehr, dass der Nutzen der korrespondirenden Beobachtungen durch das Hinzukommen der letzteren in der That weit mehr als verdoppelt wird. Die Betrachtung *eines* Termines giebt durch sie der Forschung mehr Stoff, als viele Termine von Deklinationsbeobachtungen. Je weiter sich daher die Intensitätsbeobachtungen verbreiten, desto eher darf die Zahl der Termine beschränkt werden, zumal wenn dadurch erreicht wird, dass, je seltener die Termine fallen, desto mehr Fleiss und Sorgfalt auf sie verwendet wird. Hierauf ist bei einer am Ende des Jahres nothwendig gewordenen Abänderung der Termine (welche von England aus verlangt wurde) besonders Rücksicht genommen worden, wie ein darüber an die Mitglieder vertheiltes Cirkular beweist, dessen wesentlicher Inhalt hier wiederholt werde, weil das Cirkular selbst in die Hände einiger (besonders neuer) Mitglieder nicht gekommen sein könnte. Die Abänderung der Termine ist eine *dreifache:* 1. eine Verminderung der Zahl der Termine von *sechs* auf

---

[1]) [Hierzu Taf. VII, Fig. 6.]

*vier*, aus dem schon angegebenen Grunde, dass, wenn an *vielen* Orten mit den Deklinationsbeobachtungen künftig auch die Intensitätsbeobachtungen verbunden werden, schon vier Termine der Forschung genug Stoff bieten; 2. eine Verlegung der in die Ferienzeiten der Universitäten fallenden Termine, wo es häufig schwer hält, zur gleichzeitigen Ausführung der Deklinations- und Intensitätsbeobachtungen genug Theilnehmer zu finden; 3. eine Veränderung der Wochentage, nämlich *Freitag zum Sonnabend* statt *Sonnabend zum Sonntag*, durch eine Vorrückung um 14 Stunden, weil in England die Beobachtung am Sonntag Morgen Hindernisse findet. Von Anfang 1839 an werden daher *vier* Jahrestermine von vier und zwanzig stündiger Dauer gehalten, welche am *letzten Sonnabend* der Monate *Februar*, *Mai*, *August* und *November* Abends 10 Uhr *endigen*. Nach dieser Bestimmung giebt die folgende Tafel Anfang und Ende der Termine für die beiden Jahre 1839 und 1840.

| | 1839. | | 1840. | |
|---|---|---|---|---|
| | Anfang Abends 10 Uhr mittl. Gött. Zeit | Ende Abends 10 Uhr mittl. Gött. Zeit | Anfang Abends 10 Uhr mittl. Gött. Zeit | Ende Abends 10 Uhr mittl. Gött. Zeit |
| Februar | 22 | 23 | 28 | 29 |
| Mai | 24 | 25 | 29 | 30 |
| August | 30 | 31 | 28 | 29 |
| November | 29 | 30 | 27 | 28 |

Vom Jahre 1838 sind *Deklinationsbeobachtungen* von 13 Orten, nämlich von Berlin, Breda, Kopenhagen, Göttingen, Leipzig, Mailand, Marburg, München und Upsala regelmässig für *alle* Termine, desgleichen von Breslau (mit Ausnahme des Julitermins), Hannover (mit Ausnahme des Novembertermins), Heidelberg (mit Ausnahme des Januartermins), endlich vom Seeberg für den September- und November-Termin eingegangen; *Intensitätsbeobachtungen* sind von 5 Orten, nämlich von Göttingen, Leipzig und München vom März an für *alle* Termine, von Berlin blos für den Märztermin, von London für den Julitermin eingegangen. Alle *Beobachtungszahlen* sind wie in den früheren Bänden (vom August 1836 an) vollständig abgedruckt worden: nur die Januarbeobachtungen (der Deklination) von Hannover, und die Julibeobachtungen (der Intensität) von London, wo die zum ersten Male ausgeführten Beobachtungen noch nicht die Sicherheit, wie die von anderen Orten hatten, sind weggelassen worden. Diese vollständige *archivmässige* Niederlegung aller zuverlässigen *Beobachtungszahlen* ist nöthig, um denen, die sich mit magnetischen Untersuchungen beschäftigen, vollständig alle Materialien zur beliebigen Benutzung und weiteren Verarbeitung zu liefern, unabhängig von dem Gebrauche, der theilweis davon schon in dieser

Schrift gemacht wird. Anders verhält es sich mit den *Terminszeichnungen,* die nicht dazu gehören, sondern zur Hervorhebung des Wichtigsten, was wir darin finden, dienen sollen. Diese *Terminszeichnungen* sind diesmal, um die gewöhnliche Zahl der Steindrucktafeln nicht zu überschreiten, etwas beschränkt worden, weil statt dessen sechs Tafeln *magnetischer Karten* gegeben werden sollten, welche ein höheres Interesse hatten, als einige neue Beispiele von Terminszeichnungen, deren die vorigen Bände schon viele enthalten, und zu denen vielleicht in den nächsten Jahren sich noch günstigere Gelegenheit, als in diesem, finden wird; denn in diesem Jahre bietet fast nur der Novembertermin ein hervorstechendes Beispiel dar. Um von den diesjährigen Beobachtungen das Interessanteste hervor zu heben, sind übrigens die Beobachtungen von den Orten, wo Deklination und Intensität zugleich verfolgt wurden, für alle Termine *verbunden,* und für den *Novembertermin* sowohl *einzeln* als auch *verbunden* gezeichnet worden, worüber nachher noch Einiges bemerkt werden soll.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Bei einzelnen Terminen sind noch verschiedene Umstände zu bemerken.

Im Januartermin ist an einigen Orten der Versuch gemacht worden, das Zimmer, worin die Beobachtungen angestellt wurden, zu heizen, mit verschiedenem Erfolge. Die Beobachtungen in Hannover sind dadurch unbrauchbar geworden, während die Beobachtungen in Breda gut geblieben sind. Jedenfalls vermehrt die Heizung die Zahl der Fehlerquellen (durch die Luftströmungen und durch die Aenderung des Magnetismus in dem zum Ofen gehörigen oder ihm nahe befindlichen Eisen), und ist bei Intensitätsbeobachtungen, wo der Nadelmagnetismus konstant vorausgesetzt wird, ganz unzulässig.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Das bedeutendste und auf die weitere Entwickelung des Vereins einflussreichste Resultat der diesjährigen Beobachtungen ist ohne Zweifel, dass die *Harmonie* der gleichzeitigen, mit dem Bifilarmagnetometer beobachteten *Intensitätsvariationen* an *mehreren* weit entfernten Orten von einer blossen Vermuthung zu einer sicheren *Thatsache* erhoben worden ist. Davon sind Beweise in den letzten *fünf* Terminen gegeben worden, nämlich im März von vier Orten, in den folgenden Terminen von drei Orten (die Londoner Julibeobachtungen, welche durch äussere Einflüsse gestört wurden, können nicht mitgezählt werden). Der blosse Anblick der drei Intensitätskurven vom November ist ein sprechender Beweis davon. Nachdem diese Thatsache festgestellt ist, begnügt sich das Interesse an den korrespondirenden Beobachtungen nicht mehr, wie

früher, mit *isolirter* graphischer Darstellung der Deklinationen, sondern fordert eine graphische Darstellung der Deklinationen und Intensitäten in ihrer *natürlichen Verbindung,* die eine *vollständige* Idee von dem Verlauf der Erscheinungen giebt. In so verbundener Darstellung erhält man eine magnetische Kurve, die sich bald mehr bald weniger weit, nach der einen oder anderen Himmelsgegend wendet, je nachdem die Kräfte, von denen diese Variationen herrühren, stärker oder schwächer sind, und nach der einen oder anderen Himmelsgegend hin wirken. In manchen Abschnitten der Kurve sieht man in engem Raume viele labyrinthische Verschlingungen; in anderen dagegen nimmt die Kurve in schnellen Zügen einen weniger gewundenen Lauf. So bewunderns-würdig die Harmonie ist, welche sich selbst in den labyrinthischen Krümmungen der für *verschiedene* Orte gezeichneten Kurven findet, so wäre es doch im Grunde von geringer Bedeutung, wenn diese wunderbaren Formen manchmal mehr von einander abwichen; denn die wahre Bedeutung dieser auf engen Raum zusammengedrängten Schlingungen ist, dass die magnetische Kraft in dieser Zeit nur kleine Variationen erlitt, die nicht mehr mit Schärfe verfolgt werden können. Einen wichtigeren Gegenstand für unsere Aufmerksamkeit und Forschung bilden diejenigen Theile der Kurve, welche schneller und weniger gewunden das Feld durchschneiden. Sie zerfallen in zwei Klassen: in solche, wo die Kurve in sehr kurzer Zeit durch grosse Räume hindurchgeht, bei sogenannten *magnetischen Gewittern,* und in solche, wo die Kurve zwar blos mit mässiger Geschwindigkeit, aber einen beträchtlichen Theil des Tages hindurch beharrlich fast in gleicher Richtung fortschreitet. Die letzteren geben die *Hauptzüge der täglichen Bewegung.* Hoffentlich wird es sich bald einmal treffen, dass ein stärkeres magnetisches Gewitter in die Zeit eines Termines fällt, wo dann Gelegenheit sein wird, die erste gründliche Untersuchung über ihren *Ursprung* und *Fortgang* zu machen. Die Beobachtungen von diesem Jahre eignen sich dagegen nur zu einer Betrachtung der *täglichen Bewegung.* Um diese in ihren Hauptzügen mehr hervortreten zu lassen, und den schnellen Wechsel der kleinen Anomalien zu eliminiren, sind in den graphischen Darstellungen nicht alle Beobachtungen einzeln, sondern nur die Mittel aus je 12 von 5 zu 5 Minuten gemachten Beobachtungen eingetragen worden. Hierdurch ist gewonnen, dass die Kurven für mehrere Orte auf einer Karte nahe zusammen gezeichnet werden konnten, ohne dass Verwirrung unter ihnen entsteht, was der Fall sein würde, wenn alle Windungen, welche den kleinen, schnell vorübergehenden Anomalien entsprechen, vollständig gezeichnet worden wären. Der blosse Anblick dieser Kurven ist schon lehrreich. Man sieht daraus, dass die tägliche Bewegung am 31. März, Tafel VII. Fig. 6, folgende war: Mittags wirkte

eine westliche Kraft (neben der unveränderlichen Grundkraft), sie wurde Nachmittags nordwestlich und dann nördlich, blieb die Nacht hindurch nördlich, ward früh Morgens sehr östlich, und wandte sich dann etwas nach Süden und zuletzt wieder sehr schnell nach Westen, die rascheste Bewegung ist die westliche des Morgens von 9 bis 12 Uhr; auch die schnelle Wendung der Kurve in den Nachmittagsstunden, zuerst nach Norden und dann nach Nordost, und in den ersten Morgenstunden, zuerst nach Südost und dann plötzlich nach Westen treten besonders hervor, während in den Nachtstunden kein regelmässiges Fortschreiten sichtbar ist. Diese tägliche Bewegung zeigt sich auch im Mai- und Juli-Termin wieder sehr ähnlich. Aber im September-Termine und November-Termine tritt die regelmässige tägliche Bewegung fast gar nicht hervor, weil sie in dieser Jahreszeit an sich klein ist und durch grosse unregelmässige Bewegungen ganz verdeckt wird.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Bei aller Aehnlichkeit der Kurven von *verschiedenen* Orten zeigen sich auch grosse Abweichungen in der Lage einzelner Theile, aus welchen man auf das Centrum der Kräfte, welche die tägliche Bewegung hervorbringen, schliessen könnte, wenn man die Beobachtungen dazu einer scharfen Rechnung unterwürfe; doch scheint es rathsam, solche Rechnungen für die gewiss bald mit noch grösserer Vollständigkeit und Vollkommenheit auszuführenden Beobachtungen vorzubehalten. Denn es ist zu erwarten, dass diese ersten glücklichen Proben eine baldige weitere Verbreitung der Intensitätsbeobachtungen zur Folge haben, und dass an mehreren Orten definitive Einrichtungen statt der bisherigen provisorischen getroffen werden. Es leuchtet nämlich ein, dass zu solchen Rechnungen es nicht genügt, wenn die Deklinations- und Intensitätskurven einzeln betrachtet an mehreren Orten ähnliche Gestaltung zeigen, was zur Prüfung der Beobachtungsmethode genügte, sondern es müssen auch die *Verhältnisse*, nach denen alle diese Kurven, im Ganzen betrachtet, auf gleiches Maass zurückgeführt, richtig verbunden und verglichen werden können, mit grösster Sorgfalt ermittelt werden. Nun findet man zwar in den Ueberschriften der Beobachtungszahlen wirklich den absoluten Werth der Skalentheile angegeben (ausgenommen für die Intensität in Leipzig); doch mehrere von diesen Werthen sind nur ungefähr bestimmt, und können keiner scharfen Rechnung zu Grunde gelegt werden. Dies gilt schon in Beziehung auf die Deklinationen (der angegebene Skalenwerth in München ist doppelt so gross, als im Vergleich mit anderen Orten zu erwarten wäre, worüber wohl noch eine nähere Prüfung der Originalprotokolle Aufschluss geben wird — vielleicht sind statt der Mittel aus zwei um die Schwingungsdauer abstehender Beobachtungen die Summen genommen worden); weit mehr

gilt dies aber noch in Beziehung auf die Intensitäten. Denn *erstens* lässt sich bei diesen letzteren der wahre Werth der Skalentheile mit den *provisorischen Einrichtungen*, die in Berlin und Leipzig zur ersten Probe der Methode gebraucht wurden, gar nicht genau ermitteln, sondern dazu sind feinere Messungsmittel nöthig, wie die in den Resultaten von 1837, S. 27 ff.[1]) beschriebenen. *Zweitens* reicht es bei den Intensitätsbeobachtungen nicht hin, den Werth der Skalentheile *einmal* zu ermitteln, sondern er muss für *jeden Termin* von Neuem bestimmt werden, weil er sich mit geringen Aenderungen des Nadelmagnetismus und der Suspension, die in längeren Zeiträumen unvermeidlich sind, beträchtlich ändern kann[2]). *Drittens* endlich muss auch die *absolute* horizontale Intensität und Deklination bekannt sein, wenn die Beobachtungen an mehreren Orten einer genauen Rechnung unterworfen werden sollen. Nur wenn die Beobachtungen allen diesen Forderungen entsprechen, kann die scharfe Rechnung wahren Nutzen bringen und die Mühe lohnen. Ein grosser Schritt dazu ist jetzt schon dadurch geschehen, dass der Erfolg solcher tiefer eindringenden Forschungen, so weit er von der Natur der Erscheinungen und der Güte der Beobachtungsmittel abhängt, vollkommen gesichert ist, und dass man weiss, dass nun nichts mehr nöthig ist, als dass die Beobachter die gegebenen Mittel recht benutzen, was bei dem regen wissenschaftlichen Streben in unserer Zeit gewiss nicht fehlen wird.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Einen anderen Nachtrag zu drei Terminen des vorigen Jahres findet man den Beobachtungszahlen von diesem Jahre beigefügt, nämlich die von Herrn Parrot zu Kuopio in Finnland (62° 55′ nördl. Br., 45° 7′ östl. Länge von Ferro) am 29. Juli, zu Hammerfest in Finnmarken (70° 40′ nördl. Br., 41° 30′ östl. L.) am 31. August und zu Havösund an der finnmarkischen Küste (70° 55′ nördl. Br., 42° 10′ östl. L.) am 30. September gemachten Beobachtungen der Deklinations-Variationen. Ungeachtet Herr Parrot durch äussere Verhältnisse genöthigt wurde,

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 49.]

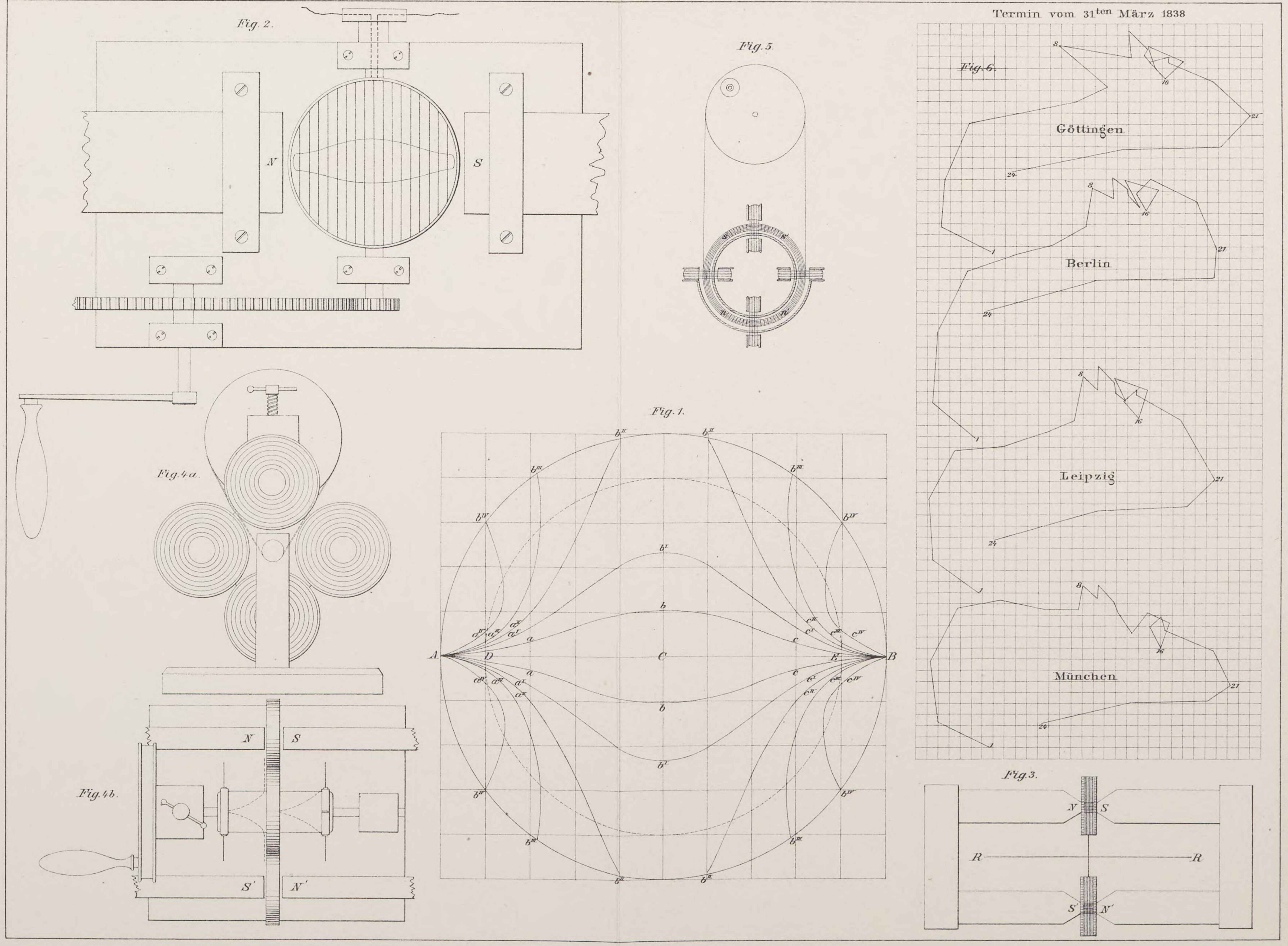
[2]) Diese *wiederholte* Prüfung des Werthes der Skalentheile lässt sich durch *Ablenkungsversuche* am einfachsten bewerkstelligen, die abwechselnd am Deklinations- und Intensitäts-Magnetometer vorgenommen werden. Zur *absoluten* Bestimmung des Werthes würde es dabei Vortheil gewähren, wenn die Magnetometernadeln nahe gleiche Dimensionen und Magnetismus besässen. Denn bezeichnet $A$ die Ablenkung des Deklinations-Magnetometers, $B$ die des Intensitäts-Magnetometers für gleiche Lage des Ablenkungsstabes; so erhält man dann den *absoluten* Werth eines Skalentheiles des letzteren unmittelbar $= \frac{1}{2R} \cdot \frac{A}{B}$. Eine solche Prüfung kann ohne grosse Mühe so oft wiederholt werden, als nöthig ist.

zur Dämpfung der Schwingungen Kunstmittel zu gebrauchen, welche der Nadel keine so vollkommene Freiheit liessen, sich nach dem magnetischen Meridian zu richten, wie der im vorigen Bande S. 18[1]) beschriebene galvanische Dämpfer, so zeigt sich doch mehrfach eine grosse Uebereinstimmung mit den anderen Beobachtungen. Es ist dabei interessant, zu sehen, wie sehr die Variationen in jener nördlichen Gegend die an allen anderen Orten, selbst in Upsala, übertreffen.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

*W.*

[1]) [Resultate, 1837, I. Gauss' Werke, Bd. V, p. 372.]


Termin vom 31ten März 1838
Fig. 2.
N
S
Fig. 5.
Fig. 6.
Göttingen
Berlin
Leipzig
München
Fig. 4a.
Fig. 1.
A
D
C
E
B
Fig. 4b.
N
S
S'
N'
Fig. 3.
N
S
R
R
S'
N'

# XI.

# Unipolare Induktion.[1])

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1839, III, S. 63—90.]

Es giebt zwei Quellen magnetischer Erscheinungen, nämlich den *Erdmagnetismus* und den *Stabmagnetismus*, welche von einander unterschieden werden, nicht weil ein specifischer Unterschied im Magnetismus selbst Statt fände, sondern weil die Verhältnisse verschieden sind, unter welchen sie wirken, und die Fragen, deren Beantwortung verlangt wird. Diese Verschiedenheit zeigt sich besonders darin, dass die bekannten allgemeinen magnetischen Gesetze (welche durch Versuche mit Stabmagneten gefunden worden sind) auf die Wirkungen des Stabmagnetismus oft *unmittelbar* Anwendung finden und von den meisten daher rührenden Erscheinungen eine sehr einfache Erklärung geben; auf die Wirkungen des Erdmagnetismus nur *mittelbar* dadurch, dass sie der allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus, welche die Principien zur Erklärung aller erdmagnetischen Erscheinungen umfasst, zum Grunde liegen. Die letztere Theorie ist von Herrn Hofrath Gauss *zuerst* im vorigen Bande der Resultate entwickelt worden; die Theorie des Stabmagnetismus ist älter und kann, weil sie in der allgemeinen Theorie des Magnetismus im Wesentlichen mit enthalten ist, wie diese, in manchen Beziehungen schon lange als abgeschlossen und vollendet betrachtet werden, was nicht hindert, dass noch einzelne Aufgaben vorkommen, die einer besondern Lösung bedürfen und durch welche selbst über das Wesen des Magnetismus noch neues Licht verbreitet werden kann. Eine solche Aufgabe macht den Gegenstand des folgenden Aufsatzes. Die Erscheinungen, welche hier betrachtet werden sollen, sind *Induktionserscheinungen*, die im Wesentlichen in der Erregung galvanischer Ströme durch bewegten Magnetismus bestehen. Diese Induktionserscheinungen werden in zwei Klassen zerfällt, wovon die der *ersten* Klasse, welche mit dem Namen der Erscheinungen der *bipolaren* Induktion bezeichnet werden sollen, hinreichend bekannt und sowohl mit Stab- als Erd-

[1]) [Hierzu Tafel VIII, Fig. 1—4.]

magnetismus hervorgebracht worden sind; die der *anderen* dagegen, die mit dem Namen der *unipolaren* Induktion bezeichnet werden sollen, bisher unbekannt waren, und blos mit Stabmagnetismus hervorgebracht werden können. Es ist interessant, neben so vielen Beispielen, die man hat, wo wesentlich dieselben Erscheinungen, wie mit dem Stabmagnetismus, so auch durch den Erdmagnetismus hervorgebracht werden (z. B. fast alle elektromagnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen), auch einen Fall kennen zu lernen, wo dies nicht möglich ist. Dass die Ursache dieser Unmöglichkeit nicht im Magnetismus selbst, sondern in äusseren Verhältnissen liegt (z. B. darin, dass die Erde kein so guter Leiter wie der Stahl eines Magnetstabes, und dass sie nicht in allen ihren Theilen magnetisch ist, — abgesehen davon, dass die Erde selbst durch ihre Grösse die Ausführung mancher Versuche verhindert), lässt sich leicht im Voraus erwarten und wird durch nähere Prüfung bestätigt. — Ehe wir zu den Versuchen selbst übergehen, welche zur Betrachtung der unipolaren Induktion geführt haben, sollen einige allgemeine Bemerkungen über das *Wesen*, die *Methode* und die *Gesetze* der unipolaren Induktion vorausgeschickt werden, weil dadurch das Verständniss der Versuche erleichtert und ihre Beschreibung abgekürzt werden kann.

## I. *Allgemeine Bemerkungen.*

### *Bipolare und unipolare Induktion.*

Es wird die Existenz zweier magnetischer Fluida vorausgesetzt, eines nördlichen und eines südlichen, welche in den Molekülen eines Magnetes in gleicher Menge vorhanden, aber von einander geschieden sind. Wird ein solcher Magnet bewegt, so wird in einem benachbarten Leiter ein galvanischer Strom nach bekannten Gesetzen inducirt. Dieser Strom ist so beschaffen, dass er in zwei Ströme zerlegt werden kann, von denen der eine durch die Bewegung des *nördlichen* Fluidums, der andere durch die Bewegung des *südlichen* Fluidums entsteht. Diese Induktion zweier Ströme durch die Bewegung *beider* magnetischen Fluida heisse im Allgemeinen eine *bipolare* Induktion. Es ist aber auch eine Induktion denkbar, wobei entweder blos ein magnetisches Fluidum bewegt wird und also der von dem anderen Fluidum inducirte Strom stets Null ist, oder das andere Fluidum bald positive bald negative Ströme inducirt, deren Summe Null ist, so dass auch hier blos derjenige Strom bleibt, welcher vom ersteren Fluidum inducirt wird. Diese Induktion eines Stromes durch die Bewegung *eines* magnetischen Fluidums heisse eine *unipolare* Induktion.

*Methode.*

Man denke sich einen Leiter, welcher die Gestalt eines horizontalen Kreises oder Ringes hat, und bewege in der vertikalen Axe dieses Ringes einen blos nördliches Fluidum enthaltenden Körper abwärts, so zeigt sich im Ringe ein galvanischer Strom, dessen Richtung der täglichen Bewegung entgegengesetzt ist. Bei gleichförmiger Geschwindigkeit nimmt der Strom während der Bewegung von unendlicher Höhe bis zur Ringebene von Null an zu, während der Bewegung von der Ringebene bis zu unendlicher Tiefe, nimmt er wieder eben so bis Null ab. Bei dieser ganzen Bewegung ändert sich daher zwar die Stromstärke, nie aber die Stromrichtung im Ringe. Wird endlich der Körper mit dem darin enthaltenen nördlichen Fluidum von unten nach oben zurück geführt, jedoch nicht in gerader Linie, sondern in einer Kreislinie, deren Mittelpunkt im Ringe liegt, so, dass er dabei stets unendlich weit vom letzteren entfernt bleibt, wobei er gar keine Einwirkung auf den Ring hat, so kann die erste Bewegung wieder von neuem beginnen und der nämliche Strom im Ringe zum zweiten Mal hervorgebracht werden. Auf diese Weise könnte also mit einem Magnet, der blos *nördliches* Fluidum enthielte, die nämliche Induktion beliebig lange fortgesetzt werden, wobei im Ringe zwar die Stromstärke, nie aber die Stromrichtung wechselte. Dasselbe würde Statt finden bei einem Magnet, der blos *südliches* Fluidum enthielte; die Richtung des Stromes würde dann aber entgegengesetzt sein. In beiden Fällen kann der Weg des Magneten sehr abgekürzt werden, weil auf allen Wegen, auf welchen der Magnet abwärts durch den Ring hindurch geht, aufwärts um den Ring herum zur ursprünglichen Stelle zurückkehrt, die Induktion gleich ist. Die wesentliche Bedingung einer fortgesetzten gleichartigen Induktion mit einem Magnet, welcher blos *ein* magnetisches Fluidum enthält, besteht also darin, dass dieser Magnet bei seiner Bewegung abwärts durch den Ring hindurch geht, aufwärts um den Ring herum, oder umgekehrt. Wird er dagegen sowohl abwärts als aufwärts durch den Ring hindurch oder um den Ring herumgeführt, so wechselt die Richtung des inducirten Stromes und die Totalwirkung ist Null.

Es ist leicht, von diesen Gesetzen die Anwendung auf den *zweiten* Fall zu machen, wo ein Magnet inducirt, welcher *beide* magnetischen Fluida in gleicher Menge enthält, die also beide mit dem Magnet zugleich sich bewegen. Der von beiden Fluidis zugleich in jedem Augenblicke inducirte Strom ist die Summe der Ströme, welche von jedem Fluidum einzeln in diesem Augenblicke inducirt werden, woraus hervorgeht, dass

1. wenn der Magnet von seiner ursprünglichen Stelle und Lage

fort und zurückbewegt wird, so dass er dabei entweder gar nicht (weder abwärts noch aufwärts) oder beide Mal (sowohl abwärts als aufwärts) durch den Ring hindurch geht, die Wirkung im Ganzen Null ist, weil sie schon in ihren Theilen verschwindet;

2. wenn der Magnet bei jener Bewegung nur einmal (abwärts oder aufwärts) durch den Ring hindurch geht, die Wirkung im Ganzen auch Null ist, weil das südliche Fluidum einen gleichen aber entgegengesetzten Strom inducirt, wie das nördliche.

Aus dem Gesagten folgt aber keineswegs, dass eine fortgesetzte gleichartige Induktion, wie ein Magnet hervorbringen kann, der blos *ein* Fluidum enthält, bei einem Magnet, der *beide* Fluida in gleicher Menge enthält, unmöglich sei; es bleibt vielmehr noch ein *dritter* Fall zu betrachten übrig, der in den beiden vorigen noch nicht enthalten, und dann möglich ist, wenn *wirklich* magnetische Fluida *existiren* und in den Molekülen des Magnetes wirklich von einander *räumlich geschieden* sind, nämlich dass

3. ein magnetisches Molekül so bewegt wird, dass es durch den Ring weder ganz, noch gar nicht, sondern *halb* durch ihn geht, *halb* ausser ihm bleibt, z. B. dass diejenige Hälfte, welche *nördliches* Fluidum enthält, abwärts durch den Ring, aufwärts aussen herum geht, oder umgekehrt; die andere Hälfte aber, welche *südliches* enthält, immer aussen bleibt. Die Wirkung ist dann im Ganzen *nicht* Null, weil das eine Fluidum (welches durch den Ring gegangen ist) einen Strom inducirt hat, welcher *nicht* aufgehoben wird, weil das andere Fluidum (welches nicht durch den Ring gegangen ist) keinen oder einen ungleichartigen Strom inducirte, dessen Wirkung im Ganzen verschwindet. Da aber der Ring sowohl wie das magnetische Molekül *feste Körper* sind, so leuchtet ein, dass dieser dritte Fall nur dann möglich ist, wenn einer von beiden *durchbrochen* wird. Ein magnetisches Molekül kann nun aber nicht so durchbrochen werden, dass jeder Theil nur *ein* Fluidum enthielte, was nöthig wäre, um *ein* Fluidum allein durch den nicht durchbrochenen Ring zu führen; folglich muss der *Ring* durchbrochen werden, was leicht geschehen kann: nur ist dabei zu bemerken, dass während des Durchbrechens des Ringes keine Unterbrechung des galvanischen Kreislaufes eintreten darf. Der Ring kann durchbrochen werden ohne Unterbrechung dieses Kreislaufes, wenn jenes untheilbare magnetische Molekül so beschaffen ist, dass der galvanische Strom mitten *zwischen beide Fluida* hindurchgehen kann; denn jenes Molekül kann dann während der Durchbrechung des Ringes, beide Theile *leitend mit einander verbinden.*

Es ist leicht eine Einrichtung zu treffen, welche den Voraussetzungen des dritten Falles entspricht. Man braucht nämlich blos

einen Stahlcylinder so zu magnetisiren, dass seine magnetische Axe mit seiner geometrischen zusammen fällt, und ihn dann um diese Axe zu drehen. Berührt man dann mit den beiden Enden eines Leitungsdrahtes, mit dem einen die Drehungsaxe bei *A* Fig. 1, mit dem anderen die Peripherie des Cylinders bei *B*, so bildet der Draht mit dem Cylinder einen ringförmigen Leiter *ABCDA*, welcher auch bei der Drehung des Cylinders stets geschlossen bleibt. Es sei nun *ns* ein magnetisches Molekül im Cylinder, an dessen einem Ende *n* das nördliche, am anderen *s* das südliche Fluidum sich befindet. Das Molekül sei so beschaffen, dass ein galvanischer Strom mitten durch geleitet werden kann. Wenn man sich nun denkt, dass der ringförmige Leiter *ABCDA* durch den Punkt geht, wo sich die Mitte dieses Moleküls jetzt befindet; so sieht man leicht, dass das nördliche Fluidum *n* bei jeder Umdrehung des Cylinders abwärts durch den Ring der Leitungskette hindurch, aufwärts um diesen Ring herumgeführt wird, wenn wir annehmen, dass in der Figur *ns* sich bei der Drehung abwärts bewegt und nach einer halben Umdrehung nach *n' s'* gelangt, um dort wieder aufwärts zu gehen. Das südliche Fluidum *s* bleibt dagegen bei der Drehung des Cylinders stets ausser dem Ringe. Unter solchen Verhältnissen kann man also vermuthen, dass ein fortdauernder gleichartiger Strom in der durch den beigesetzten Pfeil angedeuteten Richtung entstehen wird. Diese Vermuthung ist durch die Erfahrung bestätigt worden, wie die nachher mitzutheilenden Versuche beweisen werden.

Nachdem die Grundidee der zu beschreibenden Versuche angegeben worden ist, sollen noch einige Sätze entwickelt werden, welche bei der Anordnung der Versuche im Einzelnen zum Leitfaden gedient haben.

## *Gesetze.*

1. Die Induktion auf allen Wegen von dem berührten Punkte der cylindrischen Oberfläche zu dem berührten Ende der Drehungsaxe ist gleich, wenn die magnetischen Fluida überall gleichmässig geschieden sind.

Vorausgesetzt wird, dass alle magnetischen Moleküle in dem sich drehenden Cylinder gleich stark sind und gleichweit abstehen, wie wenn der Cylinder z. B. in lauter kleine und gleiche Würfel getheilt wäre, in deren Eckpunkten die magnetischen Moleküle lägen. Die Moleküle mögen dann der Drehungsaxe parallele Reihen bilden. Welchen Weg der Strom auch nimmt, so muss er durch alle Molekülenreihen von der Oberfläche bis zur Axe hindurchgehen, und die wahrscheinliche Anzahl der magnetischen Moleküle, welche er auf seinem Wege schneidet, ist der Zahl *n* dieser Reihen proportional; ausserdem ist sie der Länge *l*

jener Molekülen direkt und ihrem Abstand $a$ umgekehrt proportional, oder $= nl/a$. Da nun alle Moleküle gleich und gleich entfernt (d. h. $l$ und $a$ konstant) angenommen werden; so folgt, dass die Zahl der Schneidungen auf allen Wegen gleich erwartet werden muss. Dieser Satz gilt selbst von solchen Wegen, welche über die Drehungsaxe hinaus führen und jenseits noch mehrere Molekülenreihen durchschneiden, bis sie endlich zum Ende der Axe gelangen; denn es leuchtet ein, dass ein solcher Weg jede Reihe jenseits der Axe zwei Mal schneidet, das eine Mal sich entfernend, das andere Mal sich der Axe wieder nähernd, beide Mal mit gleicher Wahrscheinlichkeit, ein magnetisches Theilchen zu treffen. Die Induktion durch die Schneidung eines Theilchens auf dem Hinwege wird aber durch die auf dem Rückwege aufgehoben, so dass der Wahrscheinlichkeit nach die Induktion auf einem solchen Umwege im Ganzen Null ist.

2. Wenn der galvanische Strom gleichzeitig auf mehreren Wegen von der Oberfläche des Cylinders zur Axe geht, auf denen allen die Induktion gleich ist, so ist die Induktion eben so stark, als wenn er blos auf einem Wege hindurchgeht.

Es ist bekannt, dass wenn man *mehrere* gleiche galvanische Säulen aufbauet und ihre gleichnamigen Pole unter einander und mit den Enden einer langen Leitungskette verbindet (wenn also alle von jenen Säulen ausgehenden Ströme unmittelbar hinter den Säulen sich vereinigen, dann durch die lange Leitungskette gehen und endlich unmittelbar vor den Säulen sich wieder theilen, um ihren Kreislauf zu vollenden), der Strom in der Leitungskette eben so stark ist, wie wenn die Enden der letzteren blos die Pole *einer* Säule berührten, vorausgesetzt, dass der Widerstand in den Säulen gegen den Widerstand in der Kette verschwindet. Wendet man diesen Satz auf unseren Fall an, so kann jeder Weg durch den Cylinder dem Wege durch eine Säule verglichen werden, woraus der angeführte Satz folgt, weil der Widerstand im Cylinder gegen den Widerstand in der übrigen Kette verschwindet. Hieraus folgt

3. Die Induktion ist unabhängig von der Zahl der Punkte, welche an der Oberfläche des Cylinders berührt werden.

4. Die Induktion ist unabhängig von der Länge des Cylinders, dessen Moleküle alle gleich stark magnetisch sind.

5. Die Induktion ist unter sonst gleichen Verhältnissen dem Querschnitt des Cylinders proportional.

6. Wenn unter den verschiedenen Wegen, welche durch den Cylinder gehen, einige sind, für welche die Induktion grösser, andere, für die sie kleiner ist, so wird der Strom eben so stark sein, als wenn er auf dem letzteren Wege allein durch den Cylinder gegangen wäre.

Es ergiebt sich der letzte Satz aus der Vergleichung unseres Falles mit dem eines Leitungsdrahtes, der am Ende getheilt zu mehreren *ungleichen* Säulen geführt wird. Denn wenn eine solche Stromtheilung Statt findet, dass einige Theile durch stärkere, andere durch schwächere Säulen gehen, so wird der Strom in der übrigen ungetheilten Kette eben so stark sein, wie wenn keine Theilung Statt fände und der Strom blos durch die schwächste Säule ginge, vorausgesetzt, dass der Widerstand in den Säulen gegen den Widerstand der ganzen Leitungskette verschwindet. Würde ein Theil statt durch eine Säule, blos durch einen Leiter geführt, worin auch der Widerstand gegen den Widerstand der ganzen Kette verschwindet; so würde der galvanische Strom in der übrigen ungetheilten Kette ganz aufhören. Es ist leicht, die Anwendung hiervon auf unseren Fall zu machen. Alle Induktion müsste verschwinden, wenn man durch eine kupferne Hülse die cylindrische Oberfläche mit der Axe des Magnetes verbände.

7. Wenn der Cylinder in allen Theilen gleich stark magnetisch ist, so wird durch zwei Umdrehungen ein Strom inducirt, welcher dem Strome gleich ist, der von demselben Cylinder durch *einen Wechsel* in einer aus einer Umwindung bestehenden Induktorrolle hervorgebracht wird, vorausgesetzt, dass der Durchmesser der letzteren gegen die Länge des Cylinders sehr klein ist.

Ist $M$ das magnetische Moment des Cylinders und $L$ seine Länge, und denkt man sich die magnetischen Fluida auf die beiden Endflächen des Cylinders vertheilt, was unter obiger Voraussetzung, dass alle Theilchen des Cylinders gleich magnetisch sind, verstattet ist; so ist $\pm \frac{M}{L}$ die Menge des nördlichen oder südlichen Fluidums, welches auf der einen oder anderen Endfläche sich befindet. Der durch *einen Wechsel* inducirte Strom $S$ ist dann dem Strome gleich, der durch *ein* Fluidum $+\frac{M}{L}$ inducirt würde, wenn es zweimal auf demselben Wege und in derselben Richtung durch den Induktorring geführt würde (vorausgesetzt, dass der Durchmesser des letzteren gegen die Länge des Cylinders sehr klein ist), wonach man also schreiben kann

$$S = 2c \cdot \frac{M}{L},$$

wo $c$ konstant ist und blos vom Widerstande der Kette abhängt. Wenn der Induktor mehrere Umwindungen bildet, so müsste $c$ mit der Zahl der Umwindungen multiplicirt werden.

Besteht nun dieser Cylinder aus lauter gleichen und parallelen Molekülen, deren jedes ein magnetisches Moment $= m$ und eine Länge $= l$ hat und deren Abstand $= a$ ist; so ist die Zahl dieser Moleküle

dem Volumen des Cylinders dividirt durch den Kubus des Abstandes $a$ gleich, oder $= \frac{\pi R^2 L}{a^3}$, wenn $R$ den Halbmesser des Cylinders bezeichnet. Die Summe der Momente aller Molekülen ist dem Momente $M$ gleich, oder

$$\frac{\pi R^2 L}{a^3} \cdot m = M.$$

Befindet sich nun am einen Ende jedes Moleküls $+ \frac{m}{l}$ (nördliches) Fluidum, am anderen Ende $- \frac{m}{l}$ (südliches) Fluidum: so erhält man die Menge nördlichen (oder südlichen) Fluidums, welche bei jeder Umdrehung des Cylinders durch den Ring der Leitungskette geht, und einen fortdauernden gleichartigen Strom inducirt, wenn man $\pm \frac{m}{l}$ mit der Zahl der Molekülenreihen im Cylinder und mit dem Verhältniss $l/a$ (welches die Wahrscheinlichkeit misst, dass der Strom beim Durchgang durch eine Molekülenreihe ein Molekül schneidet) multiplicirt. Die Menge des inducirenden, bei jeder Umdrehung des Cylinders durch den Ring der Leitungskette hindurchgehenden Fluidums ist also

$$= \frac{m}{l} \cdot \frac{\pi R^2}{a^2} \cdot \frac{l}{a} = \frac{\pi R^2 m}{a^3},$$

denn die Zahl der Molekülenreihen im Cylinder ist dem Querschnitt $\pi R^2$ des Cylinders, dividirt durch das Quadrat des Abstandes $a$ der Moleküle gleich. Hiernach ist der durch jede Umdrehung inducirte Strom

$$s = c \cdot \frac{\pi R^2 m}{a^3},$$

wo $c$ dieselbe Bedeutung wie früher hat. Vergleicht man nun die beiden Ströme mit einander, so findet man

$$S = 2s,$$

d. h. der durch zwei Umdrehungen des Cylinders inducirte Strom gleich dem durch *einen Wechsel* hervorgebrachten, vorausgesetzt, dass der Draht der Induktorrolle blos *eine* Umwindung bildet.

8. Wenn einige Theile des Cylinders stärker, andere schwächer magnetisirt sind, so ist der durch zwei Umdrehungen des Cylinders inducirte Strom schwächer als der durch *einen Wechsel*, vorausgesetzt, dass der Draht der Induktorrolle nur eine gegen die Länge des Cylinders sehr kleine Umwindung bildet.

Unter den Wegen, welche der galvanische Strom durch den Cylinder nimmt, ist einer, welcher durch die meisten schwach magnetisirten Theile geht. Der durch Drehung des Cylinders inducirte Strom

ist nach (6.) nicht stärker, als wenn der Cylinder in allen seinen Theilen eben so schwach magnetisirt wäre. Der durch *einen Wechsel* inducirte Strom dagegen wird verstärkt, wenn auch der Magnetismus des Cylinders nicht in allen, sondern nur in einzelnen Theilen verstärkt wird, woraus sich obiger Satz von selbst ergiebt.

## II. *Instrumente.*

Die Instrumente zur Erregung und Beobachtung der unipolaren Induktion waren aus folgenden Theilen zusammen gesetzt: *erstens* aus zwei in der Richtung ihrer Axe magnetisirten Stahlcylindern; *zweitens* aus einem Getriebe, womit jene Cylinder um ihre Axe mit einer messbaren Geschwindigkeit gedrehet werden konnten; *drittens* aus einem mit Multiplikator versehenen Magnetometer zur Messung der inducirten Ströme; *viertens* aus einer Vorrichtung, um das eine Ende des Multiplikatordrahtes mit dem Ende der Drehungsaxe, das andere mit der cylindrischen Oberfläche des Magnetes leitend zu verbinden, ohne dessen Drehung zu hemmen; *fünftens* aus einer Induktorrolle, um mit dem nämlichen Magnet die im vorigen Bande der Resultate S. 98 ff.[1]) beschriebenen Induktionsversuche auszuführen.

### 1. *Die cylindrischen Magnete.*

Zwei gehärtete Stahlcylinder, der eine 269 mm lang, 23 mm dick, der andere 502 mm lang, 20,5 mm dick, wurden am einen Ende (Nordende mit einer Spitze versehen, am anderen mit einer Schraubenmutter. An letzteres wurde ein gezähntes Rad (mit 40 Zähnen) angesetzt, dessen Axe in eine Spitze auslief, wie Fig. 2 darstellt. Der erste Stahlcylinder wurde zwei Mal magnetisirt, das erste Mal schwächer, das zweite Mal stärker, so dass sein magnetisches Moment dort 65 hier 108 Millionen nach absolutem Maass betrug. Der zweite Cylinder erhielt ein magnetisches Moment von 450 Millionen.

### 2. *Das Getriebe.*

Das Getriebe war dasselbe, was im zweiten Bande der Resultate (für 1837) bei Gelegenheit des Induktions-Inklinatoriums beschrieben worden ist.[2]) Nur wurde noch ein Rad mit 60 Zähnen hinzugefügt, welches in das an den Magneten befestigte mit 40 Zähnen eingriff. Bei jeder Umdrehung der Kurbel machte der Stahlcylinder $8^1/_7$ Umdrehungen. Zur Verbindung des Getriebes mit dem Magnet diente ein

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 115.]
[2]) [Ebendaselbst, p. 77.]

Gestell Fig. 3, welches aus einer eisernen Klammer bestand, auf welche das Getriebe angeschraubt wurde, und an deren Ende eine kleine Vertiefung sich befand, in welche die Spitze des am Magnet befestigten Rädchens eingesetzt wurde, während die Spitze am Nordende des Magnetes in eine ähnliche Vertiefung einer zweiten Klammer passte. Die Gestalt der Klammer wurde hierbei darum gebraucht, um zwei grosse Magnete mit ihren Enden dem sich drehenden Magnet von entgegengesetzten Seiten möglichst nähern zu können, was bei einigen Versuchen geschah. Die Klammern wurden dann durch das Gewicht dieser Magnete festgehalten. Wurden die Magnete entfernt, so wurden die Klammern fest an die Tischplatte geschraubt, worauf der Apparat stand.

### 3. *Magnetometer und Multiplikator.*

Das zu diesen Versuchen gebrauchte Magnetometer war das im vorigen Bande der Resultate beschriebene transportable Magnetometer. Dieses kleine Magnetometer wurde bei diesen Versuchen einem grösseren darum vorgezogen, weil dort der Multiplikatordraht bei einer geringeren Länge (von etwa 600 Metern) eine grössere Zahl von Umwindungen (2000) hatte. Durch ersteres (die geringere Drahtlänge) wurde der Widerstand vermindert, also der inducirte Strom verstärkt, durch letzteres (die grössere Zahl von Umwindungen) wurde die Kraft des Stromes multiplicirt: durch beides wurde die Ablenkung der Magnetometernadel vergrössert. Um die Vergrösserung noch zu vermehren, wurde ein 25pfündiger Magnetstab etwa 2 Meter südlich vom Magnetometer aufgestellt, welcher sein Südende nach Norden kehrte. Der Magnetismus dieses Stabes hielt in der Nadel einem grossen Theil der erdmagnetischen Kraft das Gleichgewicht und vergrösserte dadurch die Empfindlichkeit des Magnetometers, wodurch also derselbe Zweck wie durch eine astatische Einrichtung erreicht wurde. Die Schwingungsdauer der Magnetometernadel war zuvor etwa 10 Sekunden, und wurde dadurch auf etwa 20 Sekunden gebracht.

### 4. *Die Verbindung der Drahtenden mit dem sich drehenden Magnet.*

Das eine Ende des Multiplikatordrahtes, welches mit dem Ende der Drehungsaxe leitend verbunden werden sollte, wurde an die eiserne Klammer geknüpft, worauf das Getriebe geschraubt war und worin die Spitze lief, welche das Ende der Drehungsaxe bildete. Das andere Ende des Multiplikatordrahtes wurde dagegen in eine Schale mit Quecksilber getaucht, welche unter dem sich drehenden Magneten stand. Der Magnet war in seiner Mitte mit einer Messingscheibe umgeben, die sich mit ihm drehete und mit dem unteren Rande in das Quecksilber tauchte.

Auf diese Weise wurde die Drehung des Magnetes durch die Verbindung des letzteren mit den beiden Enden des Multiplikatordrahtes nicht gehemmt.

5. *Die Induktorrolle.*

Ein Stück von der nämlichen Sorte übersponnenen Kupferdrahtes, woraus der Multiplikator bestand, wurde um einen hölzernen Ring von 44 mm Durchmesser 20 Mal gewunden. Dieser Ring wurde als Induktorrolle gebraucht. Der Widerstand war so klein, dass er gegen den grossen Widerstand im Multiplikator vernachlässigt werden konnte; daher die mit dem nämlichen Magnet bald durch Drehung, bald durch den Wechsel dieser Rolle inducirten Ströme unmittelbar die Grösse der Induktion massen.

## III. *Versuche.*

Die Magnete, welche zu folgenden Versuchen gebraucht wurden, waren wie alle Magnete, nicht in allen ihren Theilen gleichmässig magnetisirt, sondern in der Mitte stärker, nach den Enden schwächer. Sie erfüllen also nicht die Bedingung, welche bei den oben angeführten Sätzen vorausgesetzt wurde. Auch lässt sich kein Magnet darstellen, der jene Bedingung genau erfüllte. Muss man sich also bei diesen Versuchen mit Stäben begnügen, welche von ganz gleichmässiger Magnetisirung oft sehr weit entfernt sind, so kann man nicht erwarten, dass die oben aufgestellten Sätze eine unmittelbare und genaue Anwendung auf diese Versuche finden und die Stärke der inducirten Ströme sich daraus richtig und genau vorausbestimmen lasse. Obige Sätze können und sollen unter solchen Verhältnissen blos dazu dienen, eine ungefähre Idee von der Stärke der zu erwartenden Ströme zu geben, oder zu bestimmen, von welcher Grössenordnung dieselben etwa sein sollen. Nur eine *Grenze* der Stromstärke wird dann durch obige Sätze gegeben, der sich die inducirten Ströme nähern, die sie aber nicht erreichen, solange der Cylinder ungleichförmig magnetisirt ist. Der nächste Zweck der folgenden Versuche ist daher, zu prüfen, ob wirklich auf die beschriebene Weise ein Strom entstehe, ferner, ob die Stromstärke von der nämlichen Grössenordnung sei, wie die Stärke eines durch den beschriebenen Wechsel inducirten Stromes, endlich ob, wie nach (8.) erwartet wird, jener Strom von diesem übertroffen wird. Wenn diese Fragen durch die folgenden Versuche affirmativ beantwortet werden, so soll endlich noch versucht werden, die äusseren Verhältnisse bei der *ersteren* Induktion so abzuändern, dass der hervorgebrachte Strom der angegebenen Grenze mehr genähert, und sogar der andere, bisher stärkere, Strom von ihm übertroffen wird. Der Grund, warum der

inducirte Strom jene oben festgesetzte Grenze nicht erreicht, dass nämlich der Magnet nach den Enden zu schwächer als in der *Mitte* ist, kann theilweis oder ganz gehoben werden, durch Annäherung von grösseren Magneten, welche den Magnetismus der *Enden* verstärken, während der Magnetismus in der *Mitte* fast unverändert bleibt. Wenn man annehmen dürfte, dass der Magnetismus in der *Mitte* dadurch ganz ungeändert bliebe, aber statt er vorher im ganzen Stabe hier am grössten war, nun am kleinsten würde, so würde sich dann ergeben, dass der inducirte Strom nie *schwächer* sein könne, als die oben festgesetzte Grenze angiebt; die also nach dieser Abänderung aus einer *oberen* Grenze in eine *untere* verwandelt worden wäre. Doch sieht man leicht ein, dass hierbei sehr viel von der Länge und von dem ursprünglichen Magnetismus und der Weichheit des Stahles des Cylinders abhängt. Bei kurzen Cylindern wird der Magnetismus nicht blos an den Enden, sondern auch bis nahe zur Mitte hin verstärkt werden, desto mehr, je schwächer der Magnet ursprünglich war. Bei langen Cylindern wird der Magnetismus in einiger Entfernung von den Enden nach der Mitte zu wenig oder gar nicht geändert werden. Hiernach kann man erwarten, 1. dass bei Drehung eines kurzen, schwach magnetisirten Cylinders, der zur Verstärkung seiner Enden zwischen zwei festen Magnetstäben liegt, ein Strom inducirt werden wird, der die oben festgesetzte Grenze *überschreitet,* sich jedoch 2. ihr desto mehr *nähert,* je *stärker* der Cylinder magnetisirt wird; 3. Wird derselbe Cylinder frei gedrehet, *ohne Vorlage* anderer Magnete, so wird der inducirte Strom die festgesetzte Grenze *nicht erreichen,* jedoch sich ihr desto mehr nähern, je stärker der Cylinder magnetisirt wird; aber auch beim höchsten Sättigungsgrade davon noch entfernt bleiben, weil die Ungleichförmigkeit des Magnetismus in der Mitte und an den Enden durch stärkere Magnetisirung zwar geringer werden, aber nie verschwinden kann. 4. Bei Drehung eines sehr *langen* Cylinders, auch wenn er stark magnetisirt ist, muss man dagegen erwarten, dass der inducirte Strom die oben festgesetzte Grenze *nie erreichen* und ihr dadurch, dass die Stabenden durch vorgelegte Magnete etwas verstärkt werden, nur wenig genähert werden könne; denn es lässt sich erwarten, dass die Wirkung der letzteren sich auf keine grosse Entfernung von den Enden erstrecken und nicht vermögen wird, den Magnetismus aller Theile so zu verstärken, dass er dem der mittelsten Theile gleich käme. Zur Bestätigung werden folgende Versuchsreihen dienen.

*Erste Reihe.*

Drehung eines kurzen und schwach magnetisirten Cylinders. Die Enden wurden durch magnetische Vorlagen verstärkt.

Der Cylinder war 269 mm lang und 23 mm dick; sein magnetisches Moment nach absolutem Maasse = 65 Millionen.

*60 Umdrehungen in 7 Sekunden.*

| Drehung vorwärts | | | Drehung rückwärts | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 616,3 | | | 743,0 | | |
| | 623,3 | | | 736,0 | |
| 626,8 | | | 732,5 | | |
| | 622,1 | | | 737,0 | |
| 619,7 | | | 739,2 | | |
| | 621,9 | 622,56 | | 736,3 | 736,54 |
| 623,0 | | | 734,8 | | |
| | 623,1 | | | 737,5 | |
| 623,2 | | | 738,8 | | |
| | 622,4 | | | 735,9 | |
| 622,0 | | | 734,5 | | |
| 617,0 | | | 734,2 | | |
| | 623,1 | | | 736,7 | |
| 626,2 | | | 738,0 | | |
| | 622,5 | | | 737,0 | |
| 620,7 | | | 736,5 | | |
| | 622,2 | 622,02 | | 737,2 | 737,12 |
| 623,0 | | | 737,5 | | |
| | 621,0 | | | 737,2 | |
| 620,0 | | | 737,0 | | |
| | 621,3 | | | 737,5 | |
| 622,0 | | | 737,8 | | |

Die *erste* Kolumne giebt die Beobachtungen der Maxima und Minima des Magnetometerstandes während der Drehung; die *zweite* Kolumne giebt den wahren Stand aus je zwei Beobachtungen mit Rücksicht auf die Dämpfung berechnet: die zweite Beobachtung wird der ersten um ein Drittel der Differenz genähert; die *dritte* Kolumne giebt das Mittel von den 5 Ständen der vorigen Kolumne. Stellt man die Werthe der 3. Kolumne zusammen, so geben die Differenzen der Stände, welche abwechselnd für die Drehung vorwärts und rückwärts gelten, den durch den inducirten Strom hervorgebrachten Ausschlag verdoppelt

| | | | |
|---|---|---|---|
| vorwärts | 622,56 | | |
| | | 113,98 | |
| rückwärts | 736,54 | | |
| | | 114,52 | 114,53 |
| vorwärts | 622,02 | | |
| | | 115,10 | |
| rückwärts | 737,12 | | |

Auf dieselbe Weise wurde der doppelte Ausschlag für 30 Umdrehungen in 7 Sekunden gefunden

$$= 56{,}52,$$

was beinahe die Hälfte des Vorigen ist. Im Mittel kann man hiernach

57,02 als den einfachen Ausschlag bei 60 Umdrehungen, oder als den doppelten Ausschlag bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden annehmen, d. i. 6,652 als den einfachen Ausschlag bei 1 Umdrehung in 1 Sekunde, oder 13,304 bei 2 Umdrehungen in 1 Sekunde. Zur Vergleichung wurden mit dem nämlichen Magnet auch diejenigen Induktionsversuche angestellt, welche im vorigen Bande der Resultate S. 98 ff.[1]) beschrieben worden sind. Zu bemerken ist, dass die Schwingungsdauer der Magnetometernadel $20^s 5$ betrug und die Induktorrolle 20 Umwindungen hatte. Die magnetischen Vorlagen mussten bei diesen Versuchen entfernt werden. Es wird genügen die Beobachtungen der Elongation zusammen zu stellen, ohne die Anordnung der Wechsel beizufügen, die man a. a. O. beschrieben findet.

| Elongationen | *a* | *b* | Elongationen | *a* | *b* |
|---|---|---|---|---|---|
| 643,0 | | | 639,0 | 8,5 | |
| 637,0 | 8,2 | | 650,7 | .... | 16,5 |
| 651,2 | .... | 17,0 | 655,5 | 8,7 | |
| 654,0 | 9,2 | | 642,0 | .... | 17,7 |
| 642,0 | .... | 16,0 | 637,8 | 8,5 | |
| 638,0 | 9,0 | | 650,5 | .... | 16,7 |
| 651,0 | .... | 15,2 | 654,5 | 8,7 | |
| 653,2 | 8,0 | | 641,8 | .... | 16,3 |
| 643,0 | .... | 15,7 | 638,2 | 8,2 | |
| 637,5 | 7,8 | | 650,0 | .... | 15,3 |
| 650,8 | .... | 16,7 | 653,5 | 8,0 | |
| 654,2 | 8,6 | | 642,0 | .... | 15,5 |
| 642,2 | .... | 15,2 | 638,0 | | |

Hiernach ist im Mittel

$$a = 8,45$$
$$b = 16,15$$
$$\frac{a^2 + b^2}{\sqrt{ab}} = 28,44$$

Multiplicirt man den letzten Werth mit $\frac{t}{\pi n}$, wo $t$ die Schwingungsdauer der Magnetometernadel ($= 20^s 5$), $n$ die Zahl der Umwindungen der Induktorrolle ($= 20$) bezeichnet, so findet man den einfachen Ausschlag, welcher 1 Umwindung und 1 Wechsel in 1 Sekunde entsprechen würde, $= 9,279$. Vergleicht man hiermit den Ausschlag, welcher oben für 2 Umdrehungen in 1 Sekunde erhalten wurde $= 13,304$; so sieht man, dass der inducirte Strom, durch welchen letzterer hervorgebracht wurde, der Erwartung gemäss (siehe oben unter 1.), stärker ist als der, welcher den ersteren Ausschlag bewirkte.

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 115.]

*Zweite Reihe.*

Drehung eines kurzen, stark magnetischen Cylinders.

Die Enden wurden durch magnetische Vorlagen verstärkt.

Der Cylinder war 269 mm lang, 23 mm dick; sein magnetisches Moment nach absolutem Maass = 108 Millionen. Da die Versuche eben so wie die vorhergehenden gemacht worden sind, so genügt es die Resultate anzuführen. Der doppelte Ausschlag bei 60 Umdrehungen in 7 Sekunden wurde gefunden

$$= 152{,}50,$$

bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden

$$= 76{,}61.$$

Im Mittel kann man hiernach 76,37 als den einfachen Ausschlag bei 60 Umdrehungen oder als den doppelten Ausschlag bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden annehmen, d. i. 8,91 als den einfachen Ausschlag bei 1 Umdrehung in 1 Sekunde, oder 17,82 bei 2 Umdrehungen in 1 Sekunde.

Zur Vergleichung hiermit wurden auch die Versuche mit der aus 20 Umwindungen bestehenden Induktorrolle wiederholt, wobei die Schwingungsdauer der Magnetometernadel $t = 21^s 44$ betrug. Es ergab sich

$$a = 14{,}22$$
$$b = 26{,}94$$
$$\frac{a^2 + b^2}{\sqrt{ab}} = 47{,}412.$$

Dividirt man den letzten Werth mit $\frac{n}{t}\pi = \frac{20}{21{,}44} \cdot 3{,}14159..$, so findet man den Ausschlag, welcher 1 Umwindung und 1 Wechsel in 1 Sekunde entsprechen würde,

$$= 16{,}178.$$

Vergleicht man hiermit den Ausschlag, welcher oben für 2 Umdrehungen in 1 Sekunde erhalten wurde

$$= 17{,}82,$$

so sieht man, dass der inducirte Strom, welcher den letzteren Ausschlag hervorbrachte, der Erwartung gemäss (siehe oben unter 2.), nur wenig stärker ist als der, welcher den ersteren bewirkte.

*Dritte Reihe.*

Drehung eines kurzen, stark magnetisirten Cylinders ohne magnetische Vorlagen.

Der Cylinder war unverändert geblieben wie bei der zweiten Reihe.

Der doppelte Ausschlag bei 60 Umdrehungen in 7 Sekunden wurde gefunden

$$= 64{,}33,$$

bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden

$$= 31{,}83.$$

Im Mittel kann man hiernach 32,05 als den einfachen Ausschlag bei 60 Umdrehungen oder als den doppelten Ausschlag bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden annehmen, d. i. 3,74 als den einfachen Ausschlag für 1 Umdrehung in 1 Sekunde, oder 7,48 für 2 Umdrehungen in 1 Sekunde.

Vergleicht man dieses Resultat mit dem Ausschlage, welcher nach der vorigen Reihe für denselben Magnet 1 Umwindung der Induktorrolle und 1 Wechsel in 1 Sekunde entsprach,

$$= 16{,}178,$$

so sieht man, dass der inducirte Strom, welcher jenen Ausschlag = 7,48 hervorbrachte, der Erwartung gemäss zwar schwächer als der, welcher diesen Ausschlag = 16,178 bewirkte (siehe oben unter 3.), aber doch noch von der nämlichen Grössenordnung ist, so dass man nach No. 8 berechtigt scheint, den Unterschied aus der beträchtlichen Verschiedenheit abzuleiten, die in einem solchen Stabe, dessen Enden durch keine magnetischen Vorlagen verstärkt werden, zwischen dem Magnetismus der mittleren und der Endtheile Statt findet.

### *Vierte Reihe.*

Drehung eines langen, stark magnetisirten Cylinders.

Die Enden wurden durch magnetische Vorlagen verstärkt.

Der Cylinder war 502 mm lang und 20,5 mm dick; sein magnetisches Moment nach absolutem Maasse = 450 Millionen. Der doppelte Ausschlag bei 60 Umdrehungen in 7 Sekunden wurde gefunden

$$= 194{,}22,$$

bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden

$$= 97{,}85.$$

Im Mittel kann man hiernach 97,36 als den einfachen Ausschlag bei 60 Umdrehungen oder als den doppelten Ausschlag bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden annehmen, d. i. 11,36 als den einfachen Ausschlag bei 1 Umdrehung in 1 Sekunde, oder 22,72 für 2 Umdrehungen in 1 Sekunde.

Zur Vergleichung hiermit wurden die Induktionsversuche mit der aus 20 Umwindungen bestehenden Rolle auch mit diesem Magnet ge-

macht. Die Schwingungsdauer der Magnetometernadel war dabei $t = 22^s 34$ gefunden worden. Es ergab sich

$$a = 28,76$$
$$b = 57,69$$
$$\frac{a^2 + b^2}{\sqrt{ab}} = 102,01.$$

Dividirt man diesen letzteren Werth mit $\frac{n}{t}\pi = \frac{20}{23,34} \cdot 3,14159\,.\,.$, so findet man den Ausschlag, welcher 1 Umwindung und 1 Wechsel in 1 Sekunde entspricht

$$= 36,27.$$

Vergleicht man hiermit den obigen Ausschlag für 2 Umdrehungen des Cylinders in 1 Sekunde

$$= 22,72,$$

so sieht man, dass der inducirte Strom, welcher diesen letzteren Ausschlag hervorbringt, bei diesem langen Cylinder trotz der Verstärkung seiner äussersten Enden doch nicht dem auf die erste Weise inducirten Strome, welcher den Ausschlag = 36,27 bewirkte, gleich kommt, wie dies auch vermuthet worden ist (siehe oben unter 4.).

### *Fünfte Reihe.*

Bei den bisher beschriebenen Versuchen hatte sich immer die in Quecksilber tauchende Messingscheibe in der *Mitte* des Cylinders befunden; in den folgenden Versuchen wurde sie an das *Ende* des Cylinders verschoben, um zu bestätigen, dass die Länge des Weges, welchen der inducirte Strom im Magnet der Drehungsaxe parallel zurücklegen muss, keinen Einfluss auf die Stromstärke hat. Der Strom wurde nämlich zuerst an dem von der Messingscheibe entfernteren, sodann an dem der Messingscheibe zunächst liegenden Ende der Drehungsaxe abgeleitet.

Der Cylinder und seine magnetischen Vorlagen blieben wie in voriger Reihe.

1. Ableitung am *entfernten* Ende der Drehungsaxe.

Der doppelte Ausschlag bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden wurde gefunden

$$= 57,12.$$

2. Ableitung am *zunächst* liegenden Ende der Drehungsaxe.

Der doppelte Ausschlag bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden wurde gefunden

$$= 59,08.$$

Aus der Vergleichung dieser beiden Resultate geht von selbst hervor, dass der inducirte Strom durch den längeren Weg, den er im

ersteren Falle der Drehungsaxe parallel im Cylinder zurücklegen musste, wenigstens *nicht* verstärkt worden ist. Der Unterschied beider Resultate ist zu klein, als dass man das Gegentheil daraus zu schliessen berechtigt wäre.

*Sechste Reihe.*

Drehung eines langen, stark magnetisirten Cylinders ohne magnetische Vorlagen.

Der Cylinder war derselbe wie bei den beiden vorigen Versuchsreihen; die in Quecksilber tauchende Messingscheibe befand sich in der Mitte des Cylinders. Der doppelte Ausschlag bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden wurde gefunden

$$= 61{,}70,$$

wonach 7,20 der einfache Ausschlag ist für 1 Umdrehung in 1 Sekunde, oder 14,40 für 2 Umdrehungen in 1 Sekunde.

Vergleicht man dieses Resultat mit dem Ausschlage, welcher nach der vierten Reihe bei demselben Magnet 1 Umwindung der Induktorrolle und 1 Wechsel in 1 Sekunde entsprach,

$$= 36{,}27,$$

so sieht man, dass der inducirte Strom, welcher jenen Ausschlag = 14,40 hervorbrachte, viel schwächer ist als der, welcher diesen Ausschlag = 36,27 hervorbringt, wie unter obwaltenden Verhältnissen auch vermuthet worden war (siehe oben unter 4.).

*Siebente Reihe.*

Die Versuche der vorigen Reihe wurden wiederholt, indem die in Quecksilber tauchende Messingscheibe ans Ende des Cylinders gerückt wurde, um das in der fünften Reihe gefundene Resultat auch für den Fall, wo keine magnetischen Vorlagen gebraucht werden, zu bestätigen.

1. Ableitung am *entfernten* Ende der Drehungsaxe.

Der doppelte Ausschlag bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden wurde gefunden

$$= 20{,}44.$$

2. Ableitung am *zunächst* liegenden Ende der Drehungsaxe.

Der doppelte Ausschlag bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden wurde gefunden

$$= 21{,}66.$$

Auch aus der Vergleichung dieser beiden Resultate geht von selbst hervor, dass der inducirte Strom durch den längeren Weg, den er im ersteren Falle der Drehungsaxe parallel im Cylinder zurücklegen musste, *nicht* verstärkt worden ist.

## IV. *Anwendungen.*

### 1. *Anwendung auf* AMPÈRE's *elektrodynamische Theorie der magnetischen Erscheinungen.*

Die Erscheinungen der unipolaren Induktion finden zunächst eine interessante Anwendung auf AMPÈRE's elektrodynamische Theorie der magnetischen Erscheinungen, oder auf die Frage, ob den beiden magnetischen Fluidis physische Existenz zugeschrieben werden müsse, oder ob überall statt ihrer die Annahme fortdauernder galvanischer Ströme im Innern der Magnete zur Erklärung der Erscheinungen genüge. Zur Erklärung der unipolaren Induktion scheint die letztere Annahme nicht zu genügen, während die Annahme von der physischen Existenz zweier magnetischer Fluida nicht allein jene Erklärung zu geben scheint, sondern auch zuerst auf die Betrachtung dieser Erscheinungen geführt hat.

Wollte man eine Erklärung der mit dem Namen der unipolaren Induktion bezeichneten Erscheinungen aus AMPÈRE's elektrodynamischer Theorie der magnetischen Erscheinungen abzuleiten versuchen, so würde dieser Versuch daran scheitern, dass galvanische Ströme nach AMPÈRE nur in solche Elemente sich auflösen lassen, die in der sie verbindenden geraden Linie anziehend oder abstossend auf einander wirken. Denn hieraus ersieht man leicht, dass ein Stromelement in der Ringebene durch einen Strom im Ringe nicht senkrecht gegen den Ring bewegt werden kann, und umgekehrt, dass eine solche Bewegung des Stromelementes keinen Strom im Ringe induciren kann. Die Lebensfrage der unipolaren Induktion scheint aber darin zu bestehen, dass eine Induktion in dem Augenblicke Statt finde, wo das inducirende Element in der Ringebene sich befindet, weil, wenn in diesem Augenblicke die Induktion Null ist, ein Uebergang von positiver zu negativer oder umgekehrt Statt findet. Das Charakteristische der unipolaren Induktion besteht aber darin, dass ein solcher Uebergang nie vorkommt. Es scheint hiernach vergeblich zu sein, eine Erklärung der unipolaren Induktion in AMPÈRE's elektrodynamischer Theorie zu suchen, so lange wenigstens, als man bei der Zerlegung galvanischer Ströme in solche Elemente stehen bleibt, die einander in der sie verbindenden geraden Linie anziehen oder abstossen.

Das Vergebliche dieses Bemühens lässt sich noch auschaulicher machen, wenn man das schöne, von AMPÈRE zuerst bewiesene, im vorigen Bande der Resultate S. 51[1]) angeführte Theorem in dieser Beziehung betrachtet, wodurch die magnetischen Wirkungen galvanischer

---

[1]) [GAUSS' Werke, Bd. V, p. 169.]

Ströme definirt werden können. Bei diesem Theorem — dass nämlich an die Stelle eines jeden linearen eine *beliebige* Fläche begrenzenden Stromes eine Vertheilung der magnetischen Flüssigkeiten an beiden Seiten dieser Fläche in unmessbaren kleinen Distanzen von derselben mit vorgedachter Wirkung substituirt werden kann, — achte man *zuerst* darauf, dass wenn ein linearer in sich zurücklaufender Strom gegeben ist, unendlich viele von ihm begrenzte Flächen gedacht werden können; *zweitens,* dass von der Wirkung des Stromes nur gelten könne, was von den Wirkungen der an allen jenen Flächen vertheilten magnetischen Flüssigkeiten gemeinsam gilt: mit anderen Worten, dass bei dieser Stellvertretung aus der Vertheilung der magnetischen Flüssigkeiten an einer von jenen Flächen nichts gefolgert werden darf, was nicht auch aus der Vertheilung an jeder von den anderen Flächen folgt. Nun denke man sich die Ebene eines kleinen kreisförmigen Leiters, durch welchen fortdauernd ein galvanischer Strom geht, der nach Ampère's Hypothese für ein magnetisches Element gesetzt wird, senkrecht auf der Ebene Taf. VIII und $AB$ Fig. 4 sei der Durchmesser des Kreises; zu beiden Seiten in unmessbar kleinen Distanzen von der Kreisebene denke man sich in $AaB$ und $Aa'B$ das nördliche und südliche Fluidum vertheilt; so kann dieser Leiter so bewegt werden, dass der Magnetismus bei $a$ durch den Induktorring geht, während $a'$ immer ausserhalb bleibt. Man sieht aber leicht, dass man hierbei aus der Vertheilung der magnetischen Flüssigkeiten an der Kreisebene etwas geschlossen hat, was aus der Vertheilung derselben an irgend einer anderen von dem nämlichen Kreise begrenzten Fläche nicht folgen würde, was folglich von der Wirkung des galvanischen Stromes in jenem Kreise nicht gelten kann.

## 2. *Anwendung auf die Vertheilung des Magnetismus im Innern beharrlicher Magneten.*

Alle Wirkungen der Magnete, welche gewöhnlich beobachtet werden, sind Wirkungen im äusseren Raume, aus denen bekanntlich kein bestimmtes Resultat über die Vertheilung des Magnetismus im Inneren gezogen werden kann. Es lassen sich vielmehr unzählige Arten der Vertheilung des Magnetismus im Inneren angeben, welche alle in Beziehung auf jene Wirkungen identisch sind. Es findet sich sogar eine unter diesen verschiedenen Arten, nach welcher im Inneren gar kein Magnetismus, sondern aller an der Oberfläche verbreitet ist. Nur *einen* Versuch gab es, wodurch man etwas über die Verbreitung im Inneren erfahren und insbesondere erkannt hat, dass die letztgenannte Ver-

theilungsart, nämlich an der Oberfläche, in der Natur nicht Statt finde, dies ist der Versuch, wo man einen Magnet *zerbricht.*

Wir haben aber jetzt in der *unipolaren Induktion* Wirkungen eines Magneten kennen gelernt, die er auf die in seinem *Inneren* befindlichen elektrischen Fluida ausübt, welche er in strömende Bewegung setzt. Es liegt daher die Anwendung sehr nahe, die man von der unipolaren Induktion machen kann, nämlich ohne den Magnet zu zerbrechen, die wahre Vertheilung seines Magnetismus zu untersuchen. Wenn es auch nicht möglich ist, diese Vertheilung dadurch vollständig kennen zu lernen, so ist es doch schon sehr wichtig, darüber nur einige neue Bestimmungen zu erhalten.

Von dem Punkte, wo der Leitungsdraht die cylindrische Oberfläche des Magnetes berührt, bis zu dem vom Leitungsdrahte berührten Ende der Drehungsaxe, giebt es im Inneren des Magnetes einen Weg für den galvanischen Strom, wo die Induktion am *schwächsten* ist. Drehet man den Cylinder, so ändert sich im Allgemeinen dieser Weg und beschreibt während einer ganzen Umdrehung eine krumme Fläche, die wie ein Querschnitt den Cylinder in zwei Theile theilt. Der in dieser Fläche freie Magnetismus verhält sich zum Mittelwerth des freien Magnetismus in einem beliebigen Querschnitt bei dem zuerst untersuchten Cylinder, nach dem Ergebniss der *dritten* Reihe, wie 7,48 : 16,178; bei dem zweiten Cylinder, nach dem Ergebniss der *sechsten* Reihe, wie 14,40 : 36,27 Denn der durch den *Wechsel* eines (aus 1 Umwindung bestehenden) Induktors inducirte Strom (welcher bei dem *kürzeren* Magnet, wenn er alle Sekunden wiederholt wurde, einen Ausschlag = 16,178 Skalentheile, bei dem *längeren* Magnet = 36,27 hervorbrachte) giebt ein Maass des Mittelwerthes des freien Magnetismus von allen Querschnitten des Cylinders, während der durch 2 *Umdrehungen* des Cylinders inducirte Strom (welcher bei dem *kürzeren* Magnet, wenn alle Sekunden 2 Umdrehungen gemacht wurden, einen Ausschlag = 7,48 Skalentheile, bei dem *längeren* = 14,40 hervorbrachte) nach dem 6. Satze S. 158 ein Maass des Minimums des freien Magnetismus giebt, der in denjenigen krummen Querschnittsflächen enthalten ist, welche von den verschiedenen Wegen des galvanischen Stromes im Cylinder bei dessen Umdrehung beschrieben werden.

Betrachtet man die Resultate der *fünften* oder *siebenten* Versuchsreihe, wo nämlich die Ableitung des Stromes von der Oberfläche des Cylinders nicht in der Mitte, wie bei den übrigen Versuchsreihen, sondern am Ende Statt fand, so findet man (worauf schon oben aufmerksam gemacht wurde) fast dasselbe Resultat, sowohl wenn der galvanische Strom die ganze Länge des Cylinders durchlaufen muss, um von der Stelle, wo er eintritt, zu der Stelle, wo er austritt, zu gelangen, als

auch wenn er dabei die Länge des Cylinders nicht zu durchlaufen braucht, — d. h. mit anderen Worten, die beiden Minima des freien Magnetismus, der in denjenigen krummen Querschnittsflächen enthalten ist, welche bei der Drehung des Cylinders von den verschiedenen Wegen beschrieben werden, die der galvanische Strom von der berührten Stelle der Oberfläche entweder nach dem *nahen* oder nach dem *entfernten* Endpunkte der Drehungsaxe einschlägt, sind nahe gleich, woraus man vermuthen kann, dass der galvanische Strom nur bei seinem *Eintritt* und *Austritt* (d. i. hier an den nahe gleich stark magnetisirten Enden des Cylinders) von der Oberfläche zur Drehungsaxe übergeht.

Vergleicht man die Resultate der *fünften* und *siebenten* Reihe mit einander und beachtet, dass in ersterer der Magnetismus an den Enden (wo der galvanische Strom durchgeht) durch Vorlegung von Magneten sehr verstärkt war, in letzterer aber nicht, so wird der Unterschied, den man findet, nicht auffallen, dass nämlich der gemessene Ausschlag im ersteren Falle fast drei Mal grösser als im letzteren ist, oder genau sich verhält wie 58,10 : 21,05. Interessant ist es aber, zu bemerken, dass das erstere Resultat, nämlich 58,10, dem in der sechsten Versuchsreihe erhaltenen, nämlich 61,70, zwar nahe, aber doch nicht gleich kommt, ungeachtet dort die Enden des Cylinders (wo der galvanische Strom durchging) durch Vorlegung von Magneten verstärkt worden waren, — ein Beweis, dass diese Verstärkung weit entfernt ist, den Magnetismus jener Enden dem Magnetismus der *Mitte* gleich zu machen, von der in der sechsten Versuchsreihe der galvanische Strom abgeleitet wurde.

Die weitere Ausführung dieser Anwendung muss einer künftigen Gelegenheit vorbehalten werden.

3. *Anwendung auf die Vertheilung des Magnetismus im weichen Eisen.*

Besondere Schwierigkeit hat bisher die Untersuchung der Vertheilung des Magnetismus im weichen Eisen gefunden. Das Eisen nimmt nämlich einen stärkeren Magnetismus nur an, wenn es einen Magnet berührt oder wenigstens ihm sehr genähert wird, wo es aber an Mitteln fehlt, die Wirkungen, welche vom Eisen ausgehen, von den Wirkungen zu scheiden, die unmittelbar vom Magnet herrühren, um so mehr, da letztere nicht als konstant betrachtet werden dürfen, weil der Magnet durch Rückwirkung des Eisens eine Aenderung erleidet. Ein solches Mittel giebt nun die unipolare Induktion. Denn wenn man den Magnet ruhen lässt und blos das Eisen drehet, so erhält man eine blos vom Eisenmagnetismus herrührende Induktion, und umgekehrt, wenn man das Eisen ruhen lässt, und blos den Magnet drehet, so erhält

man eine blos vom Magnet herrührende Induktion. Endlich, wenn man auch beide zusammen sich drehen lässt, so kann man doch den Magnetismus in demjenigen Querschnitt des Eisens, wo er am schwächsten ist (an dem vom Magnet abgewendeten Ende) erfahren.

## *Schluss.*

Es ist bekannt, dass fast allen magnetoelektrischen Versuchen elektromagnetische Gegenversuche entsprechen. Man kann hiernach vermuthen, dass es auch für unseren Versuch, der zuerst von Faraday gemacht worden ist, einen solchen Gegenversuch geben werde. Dies ist wirklich der Fall. Es braucht sogar dieser Gegenversuch nicht erst gemacht zu werden, sondern er ist schon gemacht und seit langer Zeit bekannt. Dieser Gegenversuch besteht offenbar darin, dass man, statt den magnetischen Cylinder zu drehen und dadurch in der Leitungskette einen galvanischen Strom zu induciren, einen galvanischen Strom in entgegengesetzter Richtung durch die Kette leitet, wo dann der Magnet sich von selbst in derselben Richtung zu drehen beginnt, in welcher er vorher gedreht wurde. Wenn man diese schon lange bekannte Erscheinung genauer untersucht hätte, so würde man auf diesem Wege zu der hier betrachteten *unipolaren Induktion* leicht geführt worden sein, was meines Wissens aber nicht geschehen ist. Auch dieser schon lange bekannte Versuch scheint mit Ampère's Hypothese, dass keine magnetischen Fluida, sondern fortdauernde galvanische Ströme im Inneren der Magnete existiren, in Widerspruch zu stehen; vielmehr scheint auch diese Erscheinung nur durch die wirkliche Existenz zweier räumlich geschiedener magnetischer Flüssigkeiten erklärt werden zu können.

*W.*

## XII.

# Unipolare Induktion.[1])

Von

**Wilhelm Weber.**

[Im Auszuge.]

[Annalen der Physik und Chemie 1841, Bd. 52, S. 353—386.]

---

Ampère hat im 37. Bande der *Annales de chimie et de physique* in einer „Note über die Wechselwirkung eines Magnetes und eines galvanischen Leiters" von der von Faraday entdeckten Rotation des galvanischen Leiters um die Axe des Magnetes Rechenschaft gegeben, und hat damit auch die Erklärung der von ihm entdeckten Rotation eines Magnetes um seine eigene Axe, wenn ein galvanischer Strom durch ihn hindurch geleitet wird, zu verbinden gesucht.

Ampère zeigt zuerst, dass nach den von ihm aufgestellten allgemeinen Gesetzen ein geschlossener Strom, welcher mit dem Magnet in *keiner festen* Verbindung steht, denselben nicht um seine Axe drehen könne, noch umgekehrt (wenn alle Theile des Stromleiters unter einander fest verbunden sind) durch den Einfluss des Magnetes in Drehung gesetzt werden könne. Wenn aber ein Theil des geschlossenen Stromes im Magnet liegt, so bilde, sagt er, dieser Theil mit dem Magnet ein *festes System*, worin Wirkung und Gegenwirkung sich nothwendig aufheben müssten. Es bleibe dann nur die Wirkung des mit dem Magnet in keiner festen Verbindung stehenden Theiles des galvanischen Stromes übrig, und weil dieser *nicht geschlossen* sei, werde er, im Allgemeinen, den Magnet um seine Axe drehen. Dabei bemerkt er, dass es gleichgültig sei, ob der galvanische Strom *durch den Magnet* geführt werde, oder ob ein Theil des Stromleiters mit dem Magnet blos fest verbunden werde.

Die beiden Erscheinungen, welche hier Ampère aus *gleichen* Gründen zu erklären sucht, sind aber in der That von verschiedener Natur und

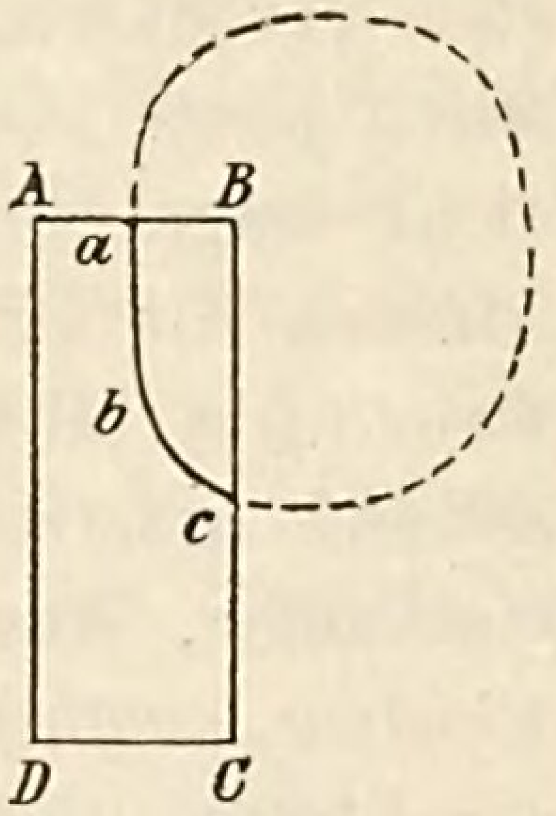
---

[1]) Aus den „Resultaten des magnetischen Vereins" (Heft 4), mit einigen Zusätzen und Abänderungen vom Verfasser.

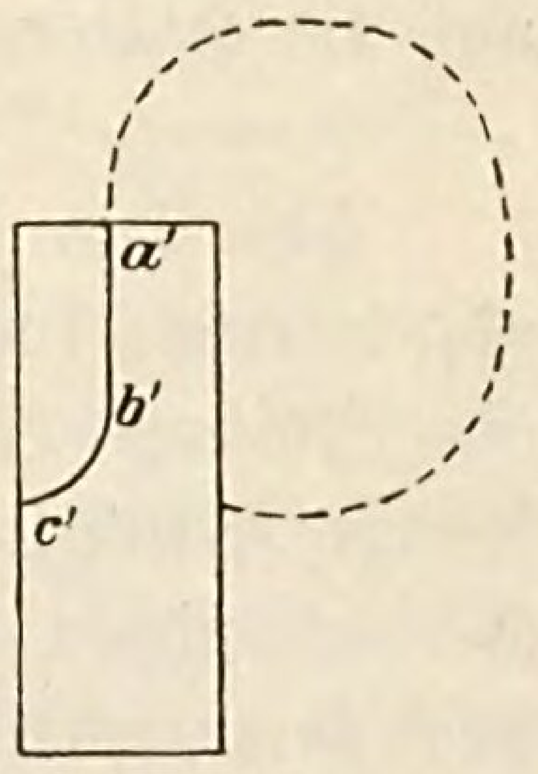
fordern jede ihre eigene Erklärung. Die von ihm gegebene Erklärung passt nur für die von FARADAY entdeckte Drehung, gilt aber keineswegs von der von ihm selbst entdeckten.

Der Unterschied beider Erscheinungen leuchtet leicht aus Folgendem ein.

*ABCD*, Fig. 1, sei der Längendurchschnitt eines Magnetes, *abc* ein durch den Magnet geführter isolirter galvanischer Leiter, dessen Fortsetzung ausserhalb des Magnetes durch punktirte Linien angedeutet ist. In dieser Figur bildet wirklich, wie AMPÈRE voraussetzt, 1. der ganze galvanische Leiter eine in sich selbst zurücklaufende Linie, 2. der Theil *abc* ein festes System mit dem Magnet. Diese beiden Bedingungen, welche in Fig. 1 erfüllt sind, gelten aber nicht mehr, wenn der Magnet um seine Axe gedreht wird. Zwar wird der isolirte Leiter *abc* in seiner festen Verbindung mit dem Magnet bleiben; aber der Endpunkt *c* wird dabei einen Kreis um die Drehungsaxe beschreiben und dadurch von der übrigen Kette getrennt werden, wie Fig. 2 zeigt, wenigstens dann, wenn nicht der ganze Magnet mit einem leitenden Gürtel umgeben wird, den das Ende *c* bei seiner Kreisbewegung immer berührt. Findet diese fortdauernde Berührung statt, so ist ausser den beiden oben unterschiedenen Theilen des Leiters ein dritter vorhanden, nämlich das Stück des Gürtels, welches die Verbindung zwischen *c* und dem punktirten Leiter herstellt, welcher von den beiden anderen durch seine veränderliche Lage sich wesentlich unterscheidet. Dieser leitende Gürtel wurde von FARADAY durch Quecksilber gebildet.



Figur 1.



Figur 2.

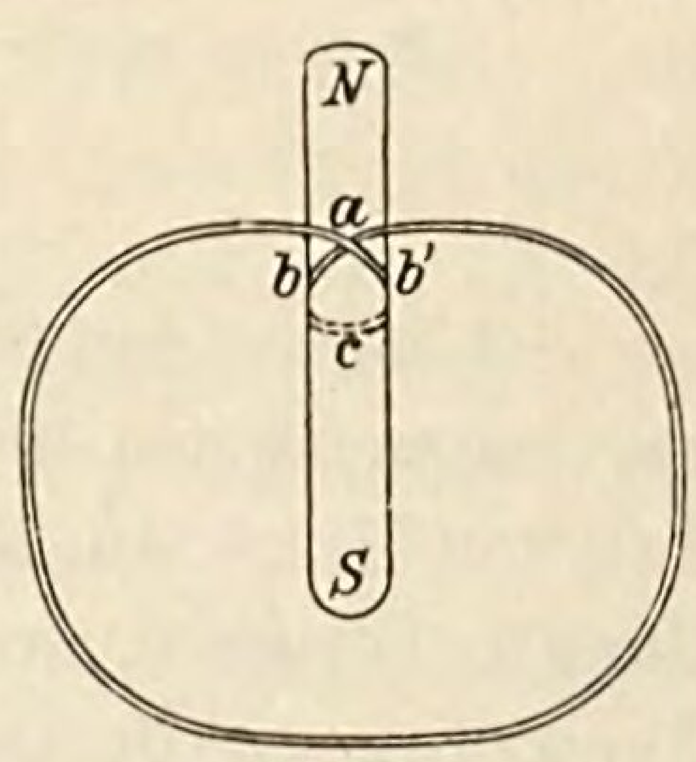
Bei AMPÈRE's Versuch aber, wo *kein isolirter Leiter abc* durch den Magnet geführt wird, sondern der Strom *frei* durch den Magnet von *a* nach *c* geht, ist die Voraussetzung nicht zulässig, welche AMPÈRE macht, dass der durch den Magnet gehende Theil des Stromes sich bei der Drehung des Magnetes ganz eben so wie ein durch jenen isolirten Leiter *abc* geführter Strom verhalte, nämlich ein *festes System* mit dem Magnet bilde, folglich an der Drehung selbst zwar Theil nehmen müsse, sie aber nicht hervorbringen könne. Der Magnetismus und der galvanische Strom, wenn sie auch in demselben Träger (einen Stahlcylinder) enthalten sind, bilden doch kein *festes System*; denn nur der Magnetismus haftet an den Stahlmolekülen, und kann nur mit ihnen *zusammen* bewegt werden. Der galvanische Strom haftet dagegen nicht an den Stahlmolekülen, sondern kann sich frei und unabhängig von den letzteren im Inneren des Magnetes *nach allen Richtungen* bewegen.

Daraus leuchtet von selbst ein, dass dieser Strom und jener Magnetismus keineswegs, wie Ampère thut, als *fest verbundene Körper* betrachtet werden dürfen, die sich mit dem Stahlcylinder zusammen drehen, und deren Wechselwirkung sich stets aufheben müsse. Wenn aber zwar der Magnetismus an die Stahlmoleküle fest gebunden ist, nicht aber der durchgehende galvanische Strom, so folgt, dass dieser Strom durch jenen Magnetismus zwar den Stahlcylinder bewegen könne, aber nicht umgekehrt. Hierdurch fällt aber der Grund weg, aus welchem Ampère die Drehung eines Magnetes, durch welchen ein galvanischer Strom *frei* hindurchgeht, erklärte, und diese, durch Versuche ausser Zweifel gesetzte, Erscheinung könnte nach Ampère sogar *unmöglich* erscheinen, was jedoch nicht der Fall ist, wenn man die *physikalische Existenz magnetischer Fluida*, statt Ampère's hypothetischer Ströme, in den Stahlmolekülen bei der Erklärung anzunehmen gestattet, wie durch folgende Untersuchung dargethan werden soll. Die Erscheinungen, welche darin betrachtet werden, sind die von Faraday entdeckten *Induktionserscheinungen*, welche das Analagon von obigen elektromagnetischen Erscheinungen bilden, und von denen leicht eine Anwendung auf die letzteren sich machen lassen wird.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Aus dem Gesagten folgt aber keineswegs, dass eine fortgesetzte gleichartige Induktion, wie ein Magnet hervorbringen kann, der blos *ein* Fluidum enthält, bei einem Magnet, der *beide* Fluida in gleicher Menge enthält, unmöglich sei; es bleibt vielmehr noch ein *dritter* Fall zu betrachten übrig, der in den beiden vorigen noch nicht enthalten, und dann möglich ist, wenn *wirklich* magnetische Fluida *existiren*, und in den Molekülen des Magnetes wirklich von einander *räumlich geschieden* sind, nämlich dass 3. ein magnetisches Molekül so bewegt wird, dass es durch den Ring weder ganz, noch gar nicht, sondern *halb* durch ihn geht, *halb* ausser ihm bleibt, z. B. dass diejenige Hälfte, welche *nördliches* Fluidum enthält, abwärts durch den Ring, aufwärts aussen herumgeht, oder umgekehrt; die andere Hälfte aber, welche *südliches* enthält, immer aussen bleibt. Die Wirkung ist dann im Ganzen *nicht* Null, weil das eine Fluidum (welches durch den Ring gegangen ist) einen Strom inducirt hat, welcher nicht aufgehoben wird, weil das andere Fluidum (welches nicht durch den Ring gegangen ist) keinen oder einen ungleichartigen Strom inducirte, dessen Wirkung im Ganzen verschwindet. Da aber der Ring sowohl wie das magnetische Molekül feste Körper sind, so leuchtet ein, dass dieser dritte Fall nur dann möglich ist, wenn einer von beiden durchbrochen wird. Ein magnetisches Molekül kann nun aber nicht so durchbrochen werden, dass jeder Theil nur ein Fluidum enthielte, was nöthig wäre, um ein Fluidum allein durch den nicht

durchbrochenen Ring zu führen, folglich muss der Ring durchbrochen werden, was leicht geschehen kann: nur ist dabei zu bemerken, dass während des Durchbrechens des Ringes keine Unterbrechung des galvanischen Kreislaufes eintreten darf. Der Ring kann 1. durchbrochen werden ohne Unterbrechung dieses Kreislaufes, wenn jenes untheilbare magnetische Molekül so beschaffen ist, dass der galvanische Strom mitten *zwischen beiden Fluida* hindurchgehen kann; denn jenes Molekül kann dann während der Durchbrechung des Ringes, beide Theile *leitend mit einander verbinden*; 2. kann der Ring durchbrochen werden ohne Unterbrechung jenes Kreislaufes, wenn der Kupferdraht, woraus der Ring besteht, vor der Durchbrechung ein Mal um die Mitte des Magnetes gewunden wird, und, nach der Durchbrechung, hinter dem Magnet bei *c*, die Verbindung bei *a*, Fig. 3, erhalten wird. Während dieser Verbindung in *a* können die durchgeschnittenen Drahtenden *abc* und *ab'c* durch *a* durchgezogen und zuletzt ihre Endpunkte wieder verknüpft werden.



Figur 3.

Von diesen beiden Methoden soll hier die erstere genauer untersucht werden. Es ist leicht eine Einrichtung zu treffen, welche der dabei gemachten Voraussetzung entspricht.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Zum Schluss dieser Abhandlung mögen einige Worte zur Erklärung der von Ampère zuerst entdeckten Erscheinung, von welcher in der Einleitung die Rede gewesen, beigefügt werden. Es ist bekannt, dass fast allen magneto-elektrischen Versuchen elektro-magnetische Gegenversuche entsprechen. Die so eben untersuchte Erscheinung der unipolaren Induktion gehört dem Bereich der magneto-elektrischen Versuche an, dagegen die in der Einleitung besprochene von Ampère entdeckte Erscheinung gehört dem Bereiche der elektro-magnetischen Versuche an, und zwar ergiebt die genauere Prüfung, dass diese als der Gegenversuch von jener betrachtet werden müsse, und daher ganz auf die nämliche Weise zu erklären sei, so dass auch der Gegenversuch als Beweis für die Existenz und physische Sonderung der magnetischen Fluida angeführt werden kann. Nach der bekannten Umkehrung, wonach die Induktionsgesetze aus den elektro-magnetischen abgeleitet werden, lassen sich obige Betrachtungen auf diesen Gegenversuch leicht anwenden, und es scheint überflüssig dies hier weiter auszuführen.

## XIII.

# Bemerkung über die verschiedenen Miren, welche zur Prüfung des unverrückten Standes des Fernrohres dienen können.

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1839, V, S. 100—101.]

---

Es ist in den vorigen Bänden der Resultate bei der Beschreibung der magnetischen Instrumente und deren Aufstellung stets nur von *einer* Art von Miren die Rede gewesen, die nämlich in einem sichtbaren festen Punkte bestehen, welcher in der Drehungsebene der optischen Axe des Theodolithenfernrohres liegt und von dem Mittelpunkte des Objektives so weit absteht, wie die Entfernungen des letzteren vom Spiegel und des Spiegels von der Skale zusammen betragen. Es ist dieser Mire vor anderen der Vorzug gegeben worden, weil sie die grösste Sicherheit gewährt. Doch erfordert sie, dass der Beobachtungssaal gross genug ist, um das Magnetometer in seiner Mitte aufzustellen, wenigstens wenn die Mire nicht ausser dem Saale sich befinden und durch eine Oeffnung in der Wand beobachtet werden soll. Jene Grösse des Beobachtungssaales und die Aufstellung des Magnetometers in seiner Mitte war ausserdem wünschenswerth, theils um von dem Magnetometer alles, was darauf Einfluss haben könnte, zu entfernen, theils um den für die absolute Intensitätsmessung nöthigen Raum zu gewinnen. Nun scheint aber an einigen Orten die Beschränkung des Raumes eine andere Einrichtung nothwendig zu machen, und es ist dazu sowohl ein sogenannter Kollimator als auch eine Spiegelmire (siehe Resultate 1839, S. 92 f.) vorgeschlagen und in Anwendung gebracht worden. Beide Vorrichtungen (der Kollimator und die Spiegelmire) können in vielen Fällen dazu dienen, Sicherheit zu geben, dass das Fernrohr *nicht* verrückt worden; wenn aber das Fernrohr verrückt worden ist, so können sie nicht dazu dienen, die ursprüngliche Stellung genau und mit Sicherheit wieder herzustellen. Nur wenn man weiss, dass die Verrückung blos am Fernrohr liegt, z. B. dass sie durch Anstossen an das Fernrohr verursacht wurde, können diese Miren zur Herstellung des ursprünglichen

Standes gebraucht werden. Wenn aber der Grund der Verrückung eben so wohl in der Mire wie im Fernrohr liegen kann, so bieten beide Vorrichtungen kein Mittel zur Scheidung beider Einflüsse dar. Doch kann man diese Scheidung erreichen *erstens* bei der Spiegelmire, wenn ein Fernrohr damit fest verbunden wird, welches auf einen beliebigen sichtbaren festen Punkt eingestellt ist. Hierdurch kann man jederzeit die Verrückung des Spiegels kennen lernen, und den so geprüften Spiegel dann mit Recht zur Berichtigung des Theodolithenfernrohres gebrauchen. *Zweitens* beim Kollimator lässt sich dieser Zweck noch leichter erreichen, weil man hiermit kein besonderes Fernrohr zu verbinden braucht, sondern die Anbringung *zweier Fadenkreuze* genügt, deren *eines*, wie gewöhnlich mit dem darauf gerichteten Theodolithenfernrohr beobachtet wird, während das *andere* an der Stelle angebracht wird, wo im Kollimator das Bild des vom Theodolithenfernrohr herabhängenden Lothfadens erscheint. Ob und wie viel der Kollimator verrückt worden sei, erfährt man alsdann, wenn man beobachtet, ob und wie weit das Bild des Lothfadens von diesem zweiten Fadenkreuze sich entfernt hat. Man beobachtet dies mit einem Okular, welches man, wie bei einem Fernrohr, an den Kollimator so ansetzt, dass man dadurch das zweite Fadenkreuz und das Bild des Lothfadens zugleich deutlich sieht. Nachdem dies geschehen ist, kann man den Kollimator mit Recht zur Berichtigung des Theodolithenfernrohres benutzen.

Endlich werde noch erwähnt, dass die Bequemlichkeit, die es gewährt, wenn das Fernrohr zur Beobachtung der Mire nicht gedreht zu werden braucht, worauf Herr Kreil S. 93[1]) aufmerksam gemacht hat, bei allen Miren Statt findet, wenn der Magnetometerspiegel sich *ausserhalb* des Kastens befindet, und das Objektiv des Fernrohres so gross ist, dass das von der Mire kommende, am Rande des Spiegels vorbei gehende Licht in das Fernrohr gelangt.

*W.*

[1]) [Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1839, IV.]

XIV.

# Erläuterungen zu den Terminszeichnungen und den Beobachtungszahlen.[1])

[Im Auszuge.]

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1839, VIII, S. 120—130.]

---

Am Schlusse des vorigen Bandes wurde das Cirkular der königlichen Societät zu London vom 1. Juli 1839 mitgetheilt, welches von den Maassregeln Nachricht gab, die das englische Gouvernement beschlossen hat, um im Laufe der drei nächsten Jahre ein möglichst vollständiges, die ganze Erdoberfläche umfassendes System magnetischer Beobachtungen ausführen zu lassen. Ueber die Fortschritte dieses grossen Unternehmens im vergangenen Jahre, so wie über den Einfluss, den es auf unseren Verein gehabt hat, mögen jetzt einige Bemerkungen vorausgeschickt werden, ehe die Resultate aus den in diesem Jahre gemachten korrespondirenden Termins-Beobachtungen näher betrachtet werden. Ausführliche Nachricht von jenem Unternehmen findet man in folgendem Werke:

Report of the committee of physics and meteorology of the Royal Society relative to the observations to be made in the antarctic expedition and in the magnetic observatories. London, 1840.

Zunächst möge bemerkt werden, dass die Anordnung der Termine, wie sie im vorigen Bande S. 136[2]) gegeben worden, von unserem Vereine auch künftig um so mehr beibehalten werden wird, da nach den Vorschriften der königlichen Societät zu London die nämlichen Termine auf gleiche Weise auch auf allen neuen Stationen gehalten werden sollen. Diese Termine mögen daher für die Jahre 1841 und 1842 im Voraus hier näher angezeigt werden

---

[1]) [Hierzu Tafel VIII, Fig. 5 und 6.]

[2]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 147.]

| | 1841. | | 1842. | |
|---|---|---|---|---|
| | Anfang Abends 10 Uhr mittl. Gött. Zeit | Ende Abends 10 Uhr mittl. Gött. Zeit | Anfang Abends 10 Uhr mittl. Gött. Zeit | Ende Abends 10 Uhr mittl. Gött. Zeit |
| Februar | 26 | 27 | 25 | 26 |
| Mai | 28 | 29 | 27 | 28 |
| August | 27 | 28 | 26 | 27 |
| November | 26 | 27 | 25 | 26 |

Die Beobachtungen werden wie bisher von 5 zu 5 Minuten gemacht. An denjenigen Orten, wo ausser einem *Unifilarmagnetometer* zu den Deklinations-Beobachtungen ein *Bifilarmagnetometer* zu den Intensitätsbeobachtungen in dem nämlichen Lokale aufgestellt ist und derselbe Beobachter abwechselnd beiderlei Beobachtungen machen soll, wird eine solche Anordnung gewünscht, dass die Deklinationen für $0^m$, $5^m$, $10^m$, $15^m$, $20^m$ u. s. w., die Intensitätsbeobachtungen für die zwischenliegenden Zeiten $2^1/_2{}^m$, $7^1/_2{}^m$, $12^1/_2{}^m$, $17^1/_2{}^m$ u. s. w. gelten. Auf den neuen Stationen sind Einrichtungen getroffen worden, dass auch die Variationen der *vertikalen* Intensität beobachtet werden können. Um diese Beobachtungen mit den vorigen zu verbinden, ohne die Zahl der Beobachter zu vermehren, hat die königliche Societät vorgeschrieben, zu den für die Intensitätsbeobachtungen bestimmten Zeiten mit den Beobachtungen der *horizontalen* und *vertikalen* Intensität abzuwechseln, und zwar so, dass die Beobachtungen der horizontalen Intensität für $2^1/_2{}^m$, $12^1/_2{}^m$, $22^1/_2{}^m$, $32^1/_2{}^m$, $42^1/_2{}^m$ und $52^1/_2{}^m$, die Beobachtungen der vertikalen Intensität, dagegen für $7^1/_2{}^m$, $17^1/_2{}^m$, $27^1/_2{}^m$, $37^1/_2{}^m$, $47^1/_2{}^m$ und $57^1/_2{}^m$ gelten. Was unseren Verein in dieser Beziehung betrifft, so möge Folgendes erinnert werden. Die Erfahrung hat uns gelehrt, dass vorzüglich an solchen Terminen, wo grössere und unregelmässige Bewegungen vorkommen, der Verlauf der magnetischen Phänomene nicht vollständig aufgefasst werden kann, wenn nicht von 5 zu 5 Minuten wenigstens *eine* Beobachtung gemacht wird. Eine solche vollständige Auffassung der Phänomene scheint aber nöthig zu sein, wenn die Beobachtungen an Orten, welche nur in *mässigen Entfernungen* von einander liegen (wo die Beobachtungen bis auf kleine Unterschiede mit einander übereinstimmen), wie unser Verein umfasst, wahren Nutzen bringen sollen. Daher scheint es für die Zwecke *unseres Vereins* vorzuziehen, die Beobachtungen der Deklination und horizontalen Intensität in eben solcher Vollständigkeit wie bisher fortzusetzen und vor der Hand noch, in jenen vier Terminen, auf die Beobachtungen der vertikalen Intensität, wenn sie nicht damit vereinbar ist, zu verzichten.

Die königliche Societät zu London hat sich aber nicht darauf beschränkt, unserem Vereine beizutreten (in so fern sie vorschreibt, dass

in allen neu zu gründenden Stationen die für unseren Verein festgesetzten Termine gehalten werden sollen), sondern sie hat ausserdem zur Erweiterung und Vervollständigung des Systems von magnetischen Beobachtungen Vorschriften gegeben, deren Ausführung das englische Gouvernement angeordnet und alle dazu nöthigen Anstalten mit grösster Liberalität bewilligt hat. Nur an wenigen zu unserem Vereine gehörenden Beobachtungsorten wird es möglich sein, ähnliche Anstalten zu treffen und demnach das System der magnetischen Beobachtungen in ähnlicher Vollständigkeit auszuführen. Daher mag hier nur kurz erwähnt werden, worin jene Erweiterungen bestehen.

*Erstens* sollen ausser den oben angeführten 4 Terminen, noch 8 andere auf ähnliche Weise gehalten werden, so dass jeden Monat *ein* Termin fällt.

*Zweitens* sollen täglich 12 mal, regelmässig von 2 zu 2 Stunden alle *drei* Elemente der erdmagnetischen Kraft (Deklination, horizontale und vertikale Intensität) beobachtet und wenigstens *alle Monat* einmal eine *absolute* Messung der Deklination, Inklination und horizontalen Intensität damit verbunden werden. Diejenigen, welche auch an diesen Beobachtungen Theil nehmen wollen, können in der oben genannten Schrift weitere Belehrung darüber finden.

Der Zweck, welchen der letztere Theil der neu vorgeschriebenen Beobachtungen (die regelmässigen täglichen Beobachtungen aller drei Elemente der erdmagnetischen Kraft und ihre alle Monat wiederholte absolute Messung) hat, kann aus der im vorigen Bande der Resultate enthaltenen *allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus* leicht entnommen werden: es sollen die *Elemente der Theorie des Erdmagnetismus*, welche dort zum ersten Male (für das Jahr 1830), von neuem (für die Jahre 1840—1842) bestimmt werden. Jene *erste* Bestimmung hatte nur zur *Erläuterung der Theorie* gedient und es war ihr an und für sich nur ein geringer Werth beigelegt worden, weil die *erfahrungsmässigen Data*, welche ihr zum Grunde lagen, wenig Vertrauen verdienten. Dadurch ist aber das Verlangen erweckt worden, *bessere* erfahrungsmässige Data zu einer *zweiten* genaueren Bestimmung herbeizuschaffen, wozu es nöthig ist, *von den unregelmässigen Bewegungen befreiete Mittelwerthe für die absolute Grösse aller drei Elemente der erdmagnetischen Kraft an sehr vielen an der ganzen Erdoberfläche vertheilten Orten, die alle für einerlei Zeitpunkt gelten*, zu erlangen.

Wenn dieser Zweck der königlichen Societät zu London wirklich erreicht wird, so wird es dadurch auch möglich werden, die Bedeutung und den Nutzen der gewonnenen *neuen Elemente* eben so vollständig, übersichtlich und anschaulich durch *magnetische Karten* vor Augen zu stellen, wie dies beispielsweise in Beziehung jener ersten Elemente

schon ausgeführt vorliegt, worüber sogleich nähere Nachricht gegeben werden soll. Auch wird die Vergleichung der nach den *älteren* und *neueren* Elementen konstruirten Karten untereinander sehr lehrreich sein, wenn sie gleich nicht zu so wichtigen Resultaten führen kann, wie der Fall wäre, wenn die Beobachtungen, woraus die Elemente das erste Mal abgeleitet werden mussten, vollständiger und genauer gewesen wären, wo dann jene Vergleichung eine sichere Auskunft über alle Aenderungen des erdmagnetischen Zustandes der Erde in der Zwischenzeit anschaulich gegeben hätte. — Von jenen nach den Elementen der Theorie des Erdmagnetismus *zum ersten Mal* konstruirten Karten sind *einige* schon im vorigen Bande der Resultate mitgetheilt worden, *andere* sind erst später fertig geworden. Die Anzahl dieser Karten ist nun so gross, dass wenn sie alle in den Resultaten aufgenommen werden sollten, sie auf mehrere Bände vertheilt werden müssten. Da es aber von Interesse war, diese Karten bald vollständig zu haben und sie nicht von einander zu trennen; so ist vorgezogen worden, sie alle zu einem *Atlas* zu vereinigen und als ein *Supplement der Resultate* besonders herauszugeben,[1]) wovon folgende kurze Notiz hier beizufügen genügt. Es besteht dieser Atlas aus 9 Karten (in 18 Blättern), deren jede die ganze Erdoberfläche in drei Abtheilungen darstellt, eben so, wie die drei im vorigen Bande mitgetheilten Karten für die Werthe von $V/R$, für die Deklination und für die ganze Intensität. Durch diese 9 Karten ist ein dreifacher Zweck erreicht:

1. ist das System der *Wirkungen* des Erdmagnetismus (der erdmagnetischen Kräfte) auf der ganzen Erdoberfläche auf drei Arten vollständig dargestellt und anschaulich gemacht worden, nämlich a) durch die graphische Darstellung der Deklination, Inklination und der ganzen Intensität; b) durch die graphische Darstellung der drei rechtwinkligen Komponenten der magnetischen Kraft (nördliche, westliche und vertikale Intensität); c) durch die graphische Darstellung der horizontalen Intensität in Verbindung mit der schon erwähnten Darstellung der Deklination und vertikalen Intensität;

2. ist die einfachste graphische Darstellung von der gemeinsamen *Ursache* aller jener Wirkungen durch eine Karte gegeben worden, welche die in der *allgemeinen Theorie* Art. 32 erörterte ideale Vertheilung des Magnetismus auf der Erdoberfläche vor Augen bringt;

3. sind die einfachsten *Beziehungen* zwischen Ursache und Wirkungen und letzterer unter einander durch die graphische Darstellung der Werthe von $V/R$ noch mehr veranschaulicht worden, als es durch die

[1]) Atlas des Erdmagnetismus nach den Elementen der Theorie entworfen. Leipzig 1840.

im vorigen Bande enthaltene Karte geschah, indem diese Karte in der neuen Auflage noch mehr ausgeführt worden ist.

Was die Karten bildlich darstellen, ist in einigen beigefügten Tabellen auch numerisch gegeben worden, zum bequemen Gebrauch in allen Fällen, wo man exakter Angaben bedarf. Ausführliche Erläuterungen findet man endlich beigefügt, welche dazu bestimmt sind, die durch die allgemeine Theorie des Erdmagnetismus gewonnene Bereicherung der Wissenschaft auch demjenigen Theile des Publikums begreiflich und nützlich zu machen, welcher nur ein allgemeines Interesse an der *physischen Geographie* nimmt, ohne sich speciell mit magnetischen Beobachtungen zu beschäftigen. —

Nach diesen Vorbemerkungen mögen einige Betrachtungen folgen, wozu die Terminsbeobachtungen des vergangenen Jahres Veranlassung geben. Die Beobachtungszahlen selbst sind auf dieselbe Weise und mit gleicher Vollständigkeit wie von den früheren Jahren am Ende des Bandes gedruckt worden. Im Allgemeinen ist darüber nur zu bemerken, dass an 16 Orten die Deklination, und an 6 Orten die Intensität beobachtet worden ist. Jene Orte sind: Upsala, Kopenhagen, Dublin, Greenwich, Breda, Göttingen, Berlin, Breslau, Leipzig, Prag, Seeberg, Marburg, Heidelberg, München, Kremsmünster und Mailand; diese Orte sind: Dublin, Göttingen, Leipzig, Prag, München und Mailand. Zusammen sind es 65 Beobachtungsreihen für 4 Termine. Ausser diesen Beobachtungen sind noch besonders anzuführen die magnetischen Beobachtungen der Herren Lottin, Bravais, Martins, Siljeström und Siljehook, welche der Expedition scientifique envoyée par le gouvernement francais à Spitzbergen et Finmarken beiwohnten. Für das Jahr 1839 haben sie im Februartermin sowohl die Deklination als auch die Intensität zu Alten in Finmarken, im Maitermin die Deklination zu Kierisvara in Lappland (nahe bei der Mündung des Muonio in den Torneå Strom) beobachtet. Da diese Beobachtungen mit den nämlichen Instrumenten (Unifilar- und Bifilar-Magnetometer) und auf Stationen gemacht worden sind, die weit nördlicher liegen als alle anderen (Alten liegt 69° 58′ 10″, Kierisvara 67° 13′ 30″ N. Breite); so ist ihre Vergleichung mit den übrigen von besonderem Interesse, und es ist darum zu bedauern, dass eine solche Vergleichung nur für 10 Terminsstunden möglich ist, weil die Reisenden von der im vergangenen Jahre eingetretenen Abänderung der Terminszeiten nicht unterrichtet waren. Man findet in den Beobachtungszahlen diese Beobachtungen am Ende beigefügt; sie kamen in unsere Hände, als die übrigen Beobachtungen vom Februar und Mai schon gedruckt waren. Für den Februartermin sind die Beobachtungen von Alten mit denen von Kopenhagen zusammen gestellt worden, welche ebenfalls zu spät anlangten.

Von der nämlichen Expedition haben wir nachträglich auch Beobachtungen für mehrere Termine von 1838 erhalten, nämlich vom Juliustermin 1838 aus Bellsund in Spitzbergen (77° 31′ N. Breite $0^h$ $49^m$ $40^s$ östlich von Paris) und vom September und Novembertermine 1838 aus Alten und zwar sind diese drei Termine ganz mit den unserigen vergleichbar. Sie sind daher als Nachtrag zum vorigen Bande am Ende der Beobachtungszahlen beigefügt worden. Mit den Beobachtungen des Juliustermin aus Bellsund sind die Beobachtungen von Breslau vom nämlichen Termin zusammengestellt worden, welche im vorigen Bande fehlen.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

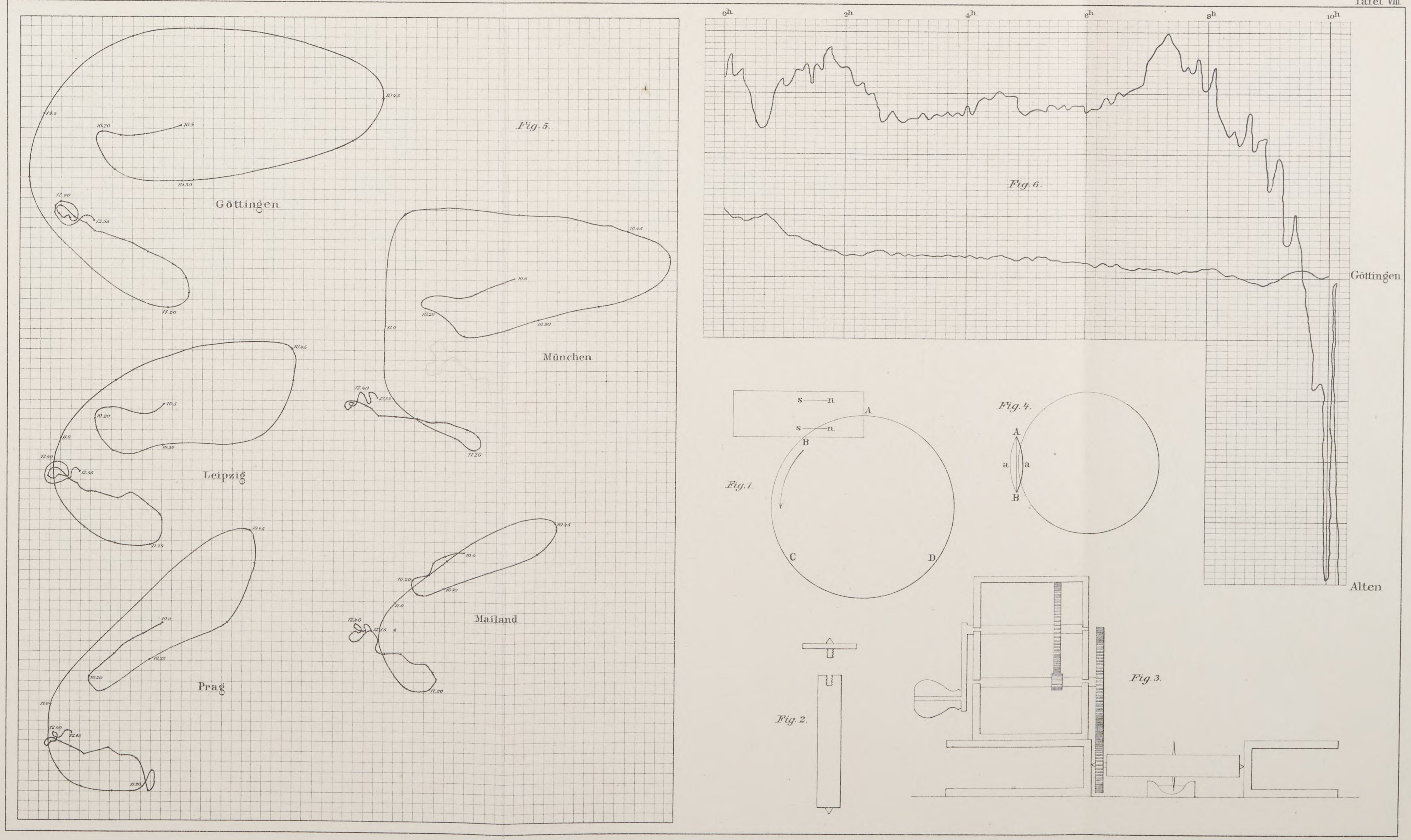
Besonderes Interesse bietet unter den diesjährigen Terminen der Augusttermin dar, wo es sich getroffen hat, dass ein Nordlicht Statt fand, welches Herr Dr. SVANBERG in Upsala, so wie auch die Hrn. BRAVAIS und MARTINS in Bossecop beobachtet haben. Herr Dr. SVANBERG bemerkt, dass es des Mondlichtes wegen nicht sehr bedeutend geschienen; die Magnetnadel sei aber August 30. $18^h$ in grosse Schwingungen gekommen, was sich bis August 31. $2^h$ oft wiederholt habe: August 30. $22^h$ — $23^h$ $30^m$ sei es gar nicht möglich gewesen, die Nadel ruhig zu erhalten, welche wenige Sekunden nach der Beruhigung wieder in heftige Schwingung gerathen sei. Herr BRAVAIS giebt von diesem Nordlicht folgende Notiz: Le 30 Août à $9^h$ $37^m$ soir. Aurore boréale consistant en une bande en arc, toute composée de rayons en jets, et qui passe au zénith, venant du Nord. — Après quoi il ne reste plus que des lueurs diffuses, éparses. L'aurore n'a pas été observée pendant les heures avancées de la nuit.

Wegen der grossen Bewegungen, welche in diesem Termine vorkommen, ist er graphisch dargestellt worden, wie viele Termine in den früheren Bänden der Resultate. Und zwar sind drei graphische Darstellungen von ihm gegeben worden, nämlich *erstens* — — — die graphische Darstellung der *Deklinationsvariationen* an 13 Beobachtungsorten. Man bemerkt unter diesen 13 Kurven wieder dieselbe Uebereinstimmung, welche in den graphischen Darstellungen korrespondirender Deklinationsvariationen immer gefunden worden ist. Nur die Kurven für Kopenhagen $16^h$ — $17^h$ und $2^h$ $40^m$ — $2^h$ $50^m$ und für München $19^h$ $20^m$ — $20^h$ $20^m$ und $7^h$ $30^m$ — $7^h$ $50^m$, weichen etwas ab, wo äussere störende Einflüsse vermuthet werden dürfen. Auch sieht man, wie im Allgemeinen die Grösse der Variationen von Norden nach Süden abnimmt, wo nur München eine Ausnahme macht, indem die Variationen hier verhältnissmässig zu gross erscheinen, doch ist das Heraustreten von München diesmal nicht so bedeutend wie im vorigen Jahre, wo deshalb vermuthet wurde, dass der Werth der Skalentheile gerade die *Hälfte* von dem im

Protokoll angegebenen betragen möchte. Es muss bemerkt werden, dass diese Vermuthung bei näherer Prüfung der Verhältnisse sich nicht bestätigt hat, und dass es also im Ungewissen bleibt, woher diese scheinbare Grösse der Deklinationsvariationen in München rühren möge. *Zweitens* ist — — — die graphische Darstellung der *Intensitätsvariationen* für den nämlichen Termin von 5 Orten gegeben worden, wobei nur zu bemerken, dass die Beobachtungen von Leipzig, wofür der Maassstab fehlt, nach einem willkührlichen Maasse eingetragen worden sind. Auch hier lässt die Uebereinstimmung der 5 Kurven fast nichts zu wünschen übrig. Endlich *drittens* auf Taf. VIII [Fig. 5] sieht man von dem nämlichen Termine für die ersten drei Stunden *die Variationen der Richtung und Stärke* des horizontalen Theiles der erdmagnetischen Kraft durch die Kombination der Deklinationsbeobachtungen mit den Intensitätsbeobachtungen für die Orte, wo die letzteren gemacht worden sind, graphisch dargestellt.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Zum Schluss dieses Berichtes möge die Aufmerksamkeit nochmals auf die in diesem und im vergangenen Jahre im äussersten Norden ausgeführten Beobachtungen gewendet werden, welche wir dem Eifer und der Ausdauer der französischen Gelehrten Hrn. Lottin, Bravais und Martins und der schwedischen Marineofficiere Lieutenant Siljeström und Siljehook verdanken, welche sich der französischen Expedition nach Spitzbergen und Finmarken angeschlossen hatten. Diese Beobachtungen verdienen schon darum besondere Aufmerksamkeit, weil sie für die Anordnung künftiger in jenen Gegenden anzustellender Beobachtungen lehrreich sein können. Es ergiebt sich beim ersten Anblick, dass die schöne Uebereinstimmung, welche stets in den Variationen von Catania, Rom, Mailand u. s. w. bis Upsala gefunden worden ist, weiter nördlich aufhört, so dass man bei Vergleichung der Kurven von Alten und Upsala kaum erkennen würde, dass sie auf dieselben Termine sich bezögen. An der Richtigkeit der Beobachtungen ist aber nicht zu zweifeln, wie sich daraus ergiebt, dass die Reisenden nicht die Mühe gescheuet haben, einige Mal doppelt zu beobachten, nämlich mit dem Magnetometer und zugleich mit einer Gambey'schen Nadel, wo sich eine gute Uebereinstimmung ergeben hat. Ist nun durch diese Beobachtungen die grosse Verschiedenheit der magnetischen Variationen in jenen nördlichen Gegenden und in Upsala hinreichend konstatirt, so ergiebt sich daraus das wichtige Resultat, dass künftige Terminsbeobachtungen in jenen nördlichen Gegenden nur dann wahren Nutzen haben werden, wenn zwischen Upsala und Alten *Zwischenstationen* eingerichtet sind, um den allmähligen Uebergang nachzuweisen, oder wenn in der Nähe von Alten *mehrere* Stationen nahe bei einander sind, die blos unter


Fig. 5.
Göttingen
München
Leipzig
Prag
Mailand
Fig. 6.
0h
2h
4h
6h
8h
10h
Göttingen
Alten
Fig. 1.
s — n
s — n
A
B
C
D
Fig. 4.
A
a
a
B
Fig 2.
Fig 3.

sich verglichen hinreichendes Interesse gewähren würden, weil zu erwarten ist, dass dort in *kleinen Entfernungen* schon grosse Unterschiede sich zeigen werden. Es würden dann diese Beoachtungen zu manchen Untersuchungen dienen können, wozu die Beobachtungen von anderen Orten wenig oder gar nicht geeignet sind. Es würde insbesondere *am sichersten* ermittelt werden, ob die Kräfte, welche die Variationen verursachen, ihren Sitz *über* oder *unter* der Erdoberfläche haben, wenn man von *mehreren Orten nahe bei jener Stelle* genaue korrespondirende Beobachtungen schaffen könnte. — Weit geringeren Nutzen werden diese Variationsbeobachtungen haben, wenn man sich auf eine einzige Station in jenen Gegenden beschränken muss, da sie so sehr von denen der nächsten Station in Upsala abweichen. Man überzeugt sich davon durch Betrachtung der *Deklinations-* und *Intensitätsvariationen* vom 23. Februar 1839.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

*Zwei andere Kurven* sieht man auf Taf. VIII [Fig. 6], welche die *Intensitätsvariationen* für den nämlichen Zeitraum in Alten und Göttingen vorstellen, die in jenem Termine die nördlichsten Orte waren, wo die Intensität beobachtet worden ist. Man sieht hier auch nicht einmal die Spur von Aehnlichkeit, welche bei den die Deklinationsvariationen darstellenden Kurven zu erkennen war.

*W.*

XV.

# Vorschlag die Variationen des Stabmagnetismus beim Bifilarmagnetometer unabhängig von der Kenntniss der Temperatur zu bestimmen.

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1840, III, S. 35—45.]

In den Resultaten für 1837 habe ich den Einfluss der Temperatur auf den Stabmagnetismus untersucht und gefunden, dass die Meinung, der Stabmagnetismus hänge unmittelbar von der Temperatur so ab, dass jeder bestimmten Temperatur eine bestimmte Intensität entspreche, im Allgemeinen nicht begründet sei. Gerade für den Fall, den man am genauesten prüfen konnte, ergab sich das Gegentheil, nämlich für den Fall, wo man durch künstliche Mittel die Temperatur des Magnetstabes *schnell wechselt* und seinen Magnetismus in kurzen Zwischenzeiten vergleicht. Auch in anderen Fällen ist daher Vorsicht anzuwenden, und jener Satz der Abhängigkeit der Intensität von der Temperatur nicht ohne Prüfung anzunehmen.

Ergäbe sich aus dieser Prüfung ein günstigeres Resultat für den Fall eines Bifilarmagnetometers, welches blos den *langsamen* täglichen und jährlichen Temperaturwechsel erleidet, so würde dadurch der Vortheil gewonnen, dass man mit den Beobachtungen des Bifilarmagnetometers nur Temperaturbeobachtungen zu verbinden brauchte, um in den aus diesen Beobachtungen abzuleitenden Variationen des Erdmagnetismus den Einfluss der vom Temperaturwechsel herrührenden Variationen des Stabmagnetismus zu eliminiren, nachdem man einmal das Verhältniss correspondirender Variationen des Stabmagnetismus und der Temperatur genau ermittelt hätte; ausserdem aber würden die Temperaturbeobachtungen nicht genügen und man müsste einen direkten Weg zur Bestimmung der Variationen des Stabmagnetismus suchen. Ein solcher Weg

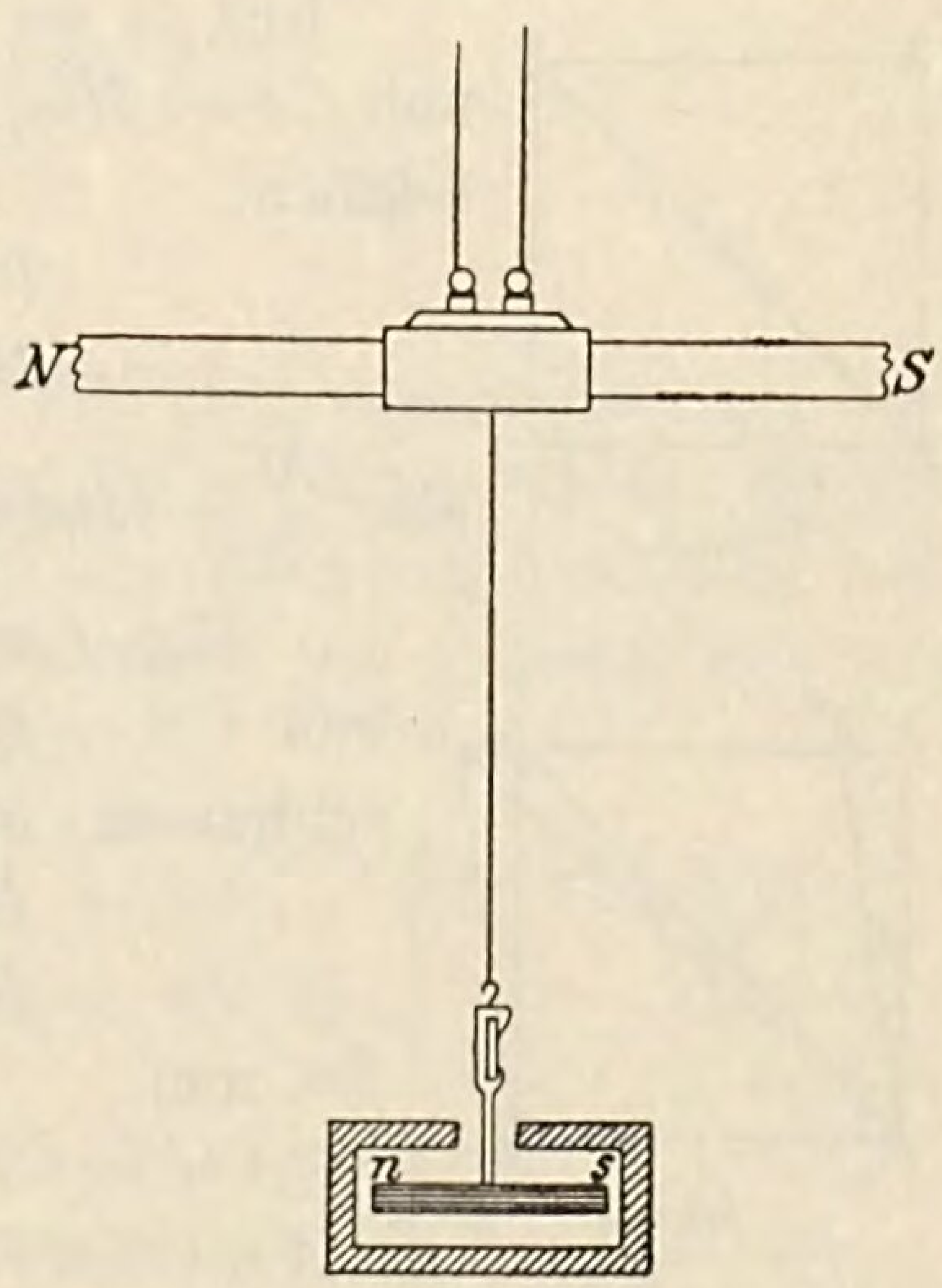
wird aber auch schon zur Ausführung jener Prüfung selbst erfordert, woraus hervorgeht, dass für die Beobachtungen des Bifilarmagnetometers und für die daraus abzuleitenden Variationen des Erdmagnetismus die Aufgabe sehr wichtig ist, die Variationen des Stabmagnetismus beim Bifilarmagnetometer, welches dem *langsamen* täglichen und jährlichen Temperaturwechsel unterworfen ist, direkt, d. i. unabhängig von der Kenntniss der Temperatur, zu bestimmen.

1.

Wenn man zu dem Zwecke, die Variationen des Stabmagnetismus bei dem *langsamen* täglichen und jährlichen Temperaturwechsel zu bestimmen, über *mehrere* eisenfreie Beobachtungsräume disponiren könnte, wo in dem einen der zu prüfende Stab als Bifilarmagnetometer aufgehangen und beobachtet würde, während in den anderen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten absolute Intensitätsmessungen häufiger wiederholt werden könnten, so würden jene Variationen des Stabmagnetismus zwar hieraus gefunden werden können, doch würde dieser Weg sehr mühsam sein, und es würde schwer halten, die absoluten Bestimmungen auf so kleine Theile, wie mit dem Bifilarmagnetometer beobachtet werden, zuverlässig zu erhalten.

Derselbe Zweck kann aber mit geringeren Mitteln und weniger Mühe auf folgende Weise erreicht werden.

Der zu prüfende Stab $NS$ Fig. 1 wird als Bifilarmagnetometer aufgehangen; sodann wird das obere Ende eines feinen Drahtes mitten am Stabe befestigt, während das untere Ende einen Spiegel trägt, an dem eine kleine Magnetnadel $ns$ befestigt ist. Diese kleine Magnetnadel mit Spiegel heisse die *Hülfsnadel*.



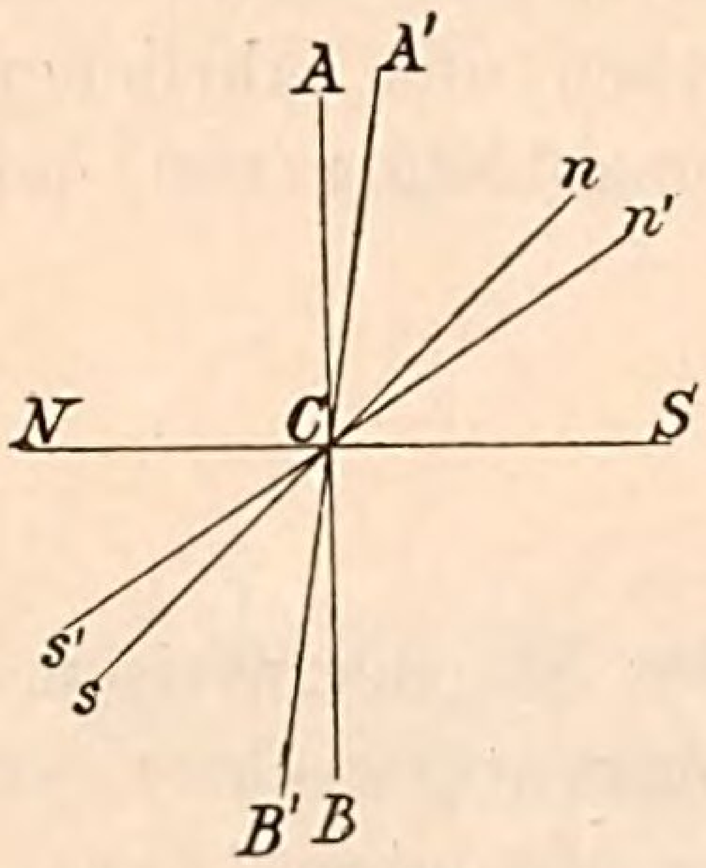
Figur 1.

Das Bifilarmagnetometer wird genau in die transversale Lage gebracht. Die magnetische Axe der Hülfsnadel $ns$ wird dann nicht im magnetischen Meridian liegen, sondern um einen Winkel, welcher $\varphi$ heisse, davon abgelenkt sein.

Die Hülfsnadel wird mit einem kupfernen Gehäuse, welches als Dämpfer dient, umgeben und mit Fernrohr und Skale eben so wie ein Magnetometer beobachtet.

## 2.

Fig. 2. $AB$ sei der magnetische Meridian, $A$ nach Norden gerichtet;




Figur 2.

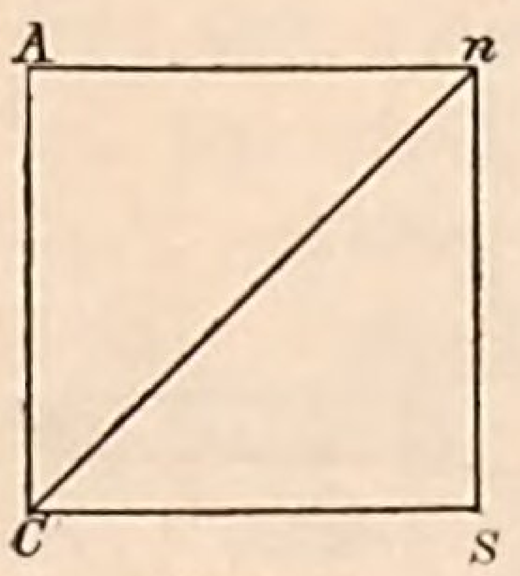
$NS$ sei das Azimuth des Bifilarmagnetometers;
$ns$ sei das Azimuth der Hülfsnadel;
$ACS$ sei ein rechter Winkel, wo $C$ die vertikale Drehungsaxe beider Magnetnadeln ist, welche von allen Richtungslinien geschnitten wird;
$ACn = \varphi$.

Aendert sich blos der *magnetische Meridian* um den Winkel $ACA' = a$, so wird das Azimuth $NS$ oder $CS$ des Bifilarmagnetometers nahe unverändert bleiben. Es soll der Winkel $nCn' = \beta'$ gefunden werden, um welchen das Azimuth $ns$ oder $nC$ der Hülfsnadel sich dadurch ändert.

$Tm$ sei die Direktionskraft der Hülfsnadel, wenn der Erdmagnetismus allein auf sie wirkt;

$Mm$ sei ihre Direktionskraft, wenn der Stabmagnetismus allein auf sie wirkt;

$D$ und $D'$ seien die wirklichen Direktionskräfte der Hülfsnadel, wenn Erdmagnetismus und Stabmagnetismus zugleich auf sie wirken, vor und nach Aenderung des magnetischen Meridians.

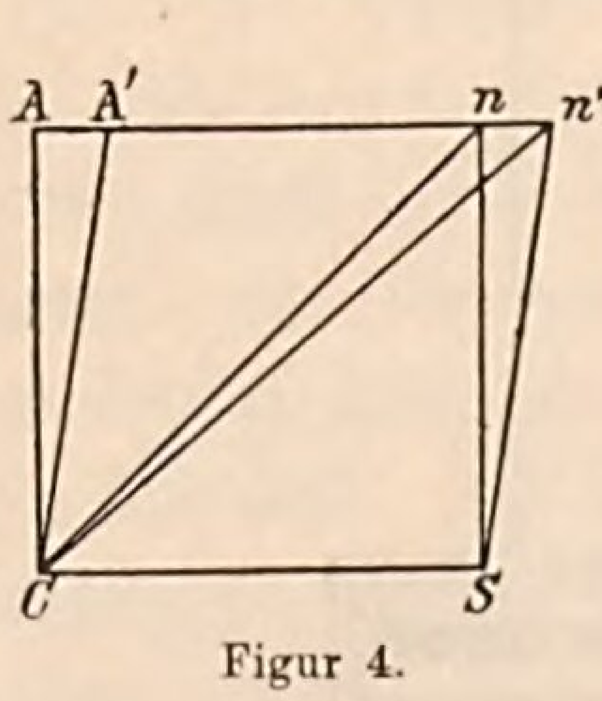



Figur 3.

Fig. 3 sei $Cn = D$ die Resultante von $CA = Tm$ und $CS = Mm$, die den Winkel $ACS = 90^0$ einschliessen; folglich

$$Tm = Cn \cos ACn = D \cos \varphi$$
$$Mm = Cn \sin ACn = D \sin \varphi,$$

also $\frac{M}{T} = \operatorname{tang} \varphi$.




Figur 4.

Fig. 4 sei $Cn' = D'$ die Resultante von $CA' = Tm$ und $CS = Mm$, die den Winkel $A'CS = 90^0 - a$ einschliessen; folglich

$$D' : Tm = \sin CA'n' : \sin A'n'C$$
$$Mm : D' = \sin Cn'S : \sin CSn'.$$

Da nun

$$CA'n' = CSn' = 90^0 + a$$
$$A'n'C = n'CS = 90^0 - (\varphi + \beta')$$
$$Cn'S = n'CA' = \varphi + \beta' - a$$

so ist

$$D' : Tm = \cos a : \cos(\varphi + \beta')$$
$$Mm : D' = \sin(\varphi + \beta' - a) : \cos a$$

woraus $\frac{M}{T} = \frac{\sin(\varphi + \beta' - \alpha)}{\cos(\varphi + \beta')} = \operatorname{tang} \varphi$ folgt. Mit Vernachlässigung der höheren Potenzen und Produkte von $\alpha$ und $\beta$ ergiebt sich hieraus

$$\beta' = \alpha \cos^2 \varphi.$$

3.

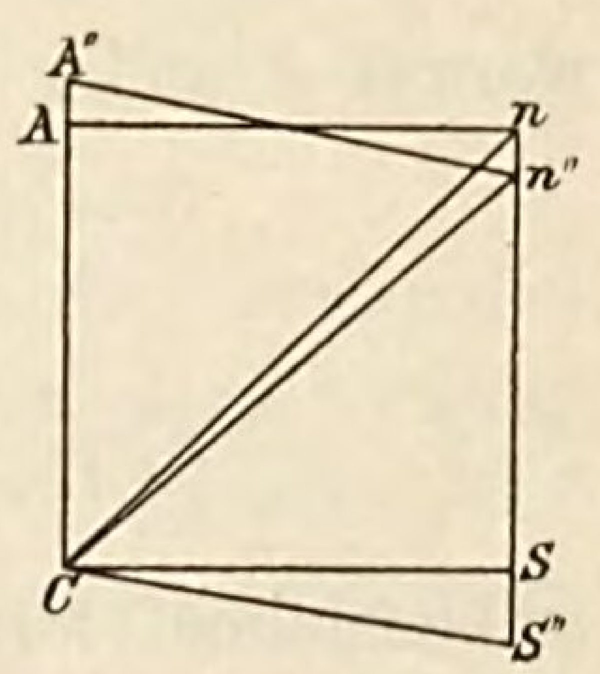
Aendert sich blos die Intensität $T$ des *Erdmagnetismus* um $\delta T$, so ergiebt sich aus dem bekannten Werthe der Skalentheile des Bifilarmagnetometers, $SCS'' = q\delta$ als Aenderung des Azimuths $SC$, wo $q$ die Tangente des aus der Aufstellung des Bifilarmagnetometers bekannten Winkels bezeichnet, welchen die Azimuthe der oberen und unteren Enden der beiden Suspensionsdrähte einschliessen. Es soll der Winkel $nCn'' = \beta''$ gefunden werden, um welchen sich das Azimuth $Cn$ der Hülfsnadel dadurch ändert.

Fig. 5 sei $Cn'' = D''$ die Resultante von $CA'' = (1 + \delta)\ Tm$ und $CS'' = Mm$, welche den Winkel $A''CS'' = 90^0 + q\delta$ einschliessen, so ergiebt sich eben so wie im vorigen Artikel

$$\frac{M}{T} = (1 + \delta) \frac{\sin(\varphi + \beta'')}{\cos(\varphi + \beta'' - q\delta)} = \operatorname{tang} \varphi,$$

oder mit Vernachlässigung der höheren Potenzen und Produkte von $\beta''$ und $\delta$

$$\beta'' = \delta (q - \cot \varphi) \sin^2 \varphi.$$



Figur 5.

4.

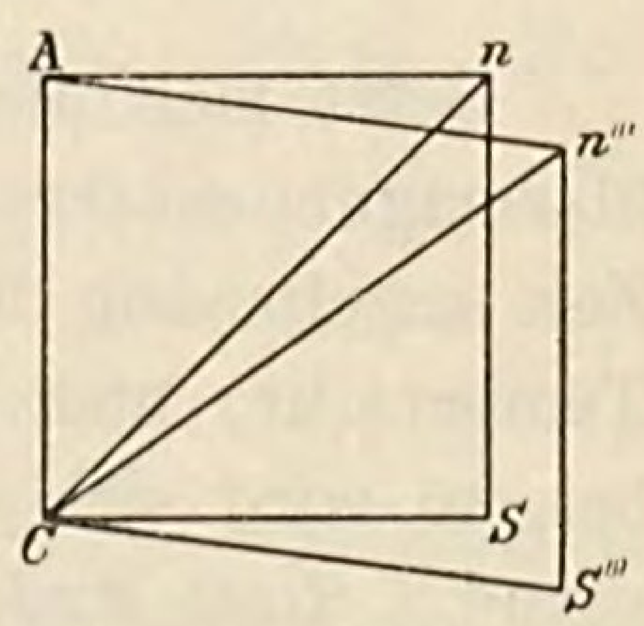
Aendert sich blos die Intensität $M$ des *Stabmagnetismus* um $\varepsilon M$, so ergiebt sich $SCS''' = q\varepsilon$ als Aenderung des Azimuths $CS$ des Bifilarmagnetometers, wo $q$ dieselbe Bedeutung wie im vorigen Artikel hat. Es soll der Winkel $nCn''' = \beta'''$ gefunden werden, um welchen sich das Azimuth $Cn$ der Hülfsnadel dadurch ändert.

Fig. 6 sei $Cn''' = D'''$ die Resultante von $CA = Tm$ und $CS''' = (1 + \varepsilon)\ Mm$, die den Winkel $ACS''' = 90^0 + q\varepsilon$ einschliessen, so ergiebt sich eben so wie in den vorigen Artikeln

$$\frac{M}{T} = \frac{1}{1 + \varepsilon} \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta''')}{\cos(\varphi + \beta''' - q\varepsilon)} = \operatorname{tang} \varphi$$

oder mit Vernachlässigung der höheren Potenzen und Produkte von $\beta'''$ und $\varepsilon$

$$\beta''' = \varepsilon (q + \cot \varphi) \sin^2 \varphi$$



Figur 6.

5.

Beobachtet man nun in der That die Aenderung $\beta$ des Azimuths $Cn$ der Hülfsnadel und zugleich die Aenderung $q\gamma$ des Azimuths des Bifilarmagnetometers und kennt man aus gleichzeitiger Beobachtung des Unifilarmagnetometers die entsprechende Deklinationsänderung $\alpha$, so erhält man, weil $\beta$ die Summe der oben mit $\beta'$, $\beta''$ und $\beta'''$ bezeichneten partiellen Aenderungen des Azimuths der Hülfsnadel, und $q\gamma$ die Summe der oben mit $q\delta$ und $q\varepsilon$ bezeichneten partiellen Aenderungen des Azimuths des Bifilarmagnetometers ist, folgende zwei Gleichungen, aus denen $\delta$ und $\varepsilon$, d. i. die Aenderung des Erdmagnetismus und Stabmagnetismus, jede in Theilen ihrer ganzen Intensität ausgedrückt, aus den beobachteten Werthen $\alpha$, $\beta$ und $\gamma$ gefunden werden, wenn die Konstanten $q$ und $\varphi$ bekannt sind, nämlich

$$\beta = \alpha \cos^2\varphi + \delta\,(q - \cot\varphi)\sin^2\varphi + \varepsilon\,(q + \cot\varphi)\sin^2\varphi \text{ und } \gamma = \delta + \varepsilon$$

woraus $\delta$ und $\varepsilon$ folgen:

$$\delta = +\tfrac{1}{2}\cot\varphi\cdot\alpha - \frac{1}{\sin 2\varphi}\cdot\beta + \tfrac{1}{2}(q\,\mathrm{tang}\,\varphi + 1)\cdot\gamma$$

$$\varepsilon = -\tfrac{1}{2}\cot\varphi\cdot\alpha + \frac{1}{\sin 2\varphi}\cdot\beta - \tfrac{1}{2}(q\,\mathrm{tang}\,\varphi - 1)\cdot\gamma$$

$\varphi$ bezeichnet hierbei die anfängliche, vom Abstand der Hülfsnadel vom Bifilarmagnetometer abhängige Ablenkung der ersteren vom magnetischen Meridian; $q$ die anfängliche von der Suspension des Bifilarmagnetometers abhängige Tangente des Torsionswinkels der beiden Aufhängungsdrähte; $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ die jedesmal zu beobachtenden Variationen der Deklination, der Hülfsnadel und des Bifilarmagnetometers, in Theilen des Halbmessers ausgedrückt. Die drei letzteren gleichzeitig gemachten Beobachtungen geben also die Variationen $\delta T$ und $\varepsilon M$ des Erdmagnetismus und Stabmagnetismus von einer Beobachtungszeit zur anderen, auch *ohne Kenntniss des Temperaturwechsels* oder der anderen Ursachen, welche letztere hervorgebracht haben.

6.

Setzt man diese drei Reihen von Beobachtungen $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ des Unifilarmagnetometers, der Hülfsnadel und des Bifilarmagnetometers einige Zeit regelmässig fort, z. B. täglich zur Zeit der höchsten und niedrigsten Temperatur, und fügt als vierte Beobachtung $t$ die des Thermometers bei, so wird sich bald ergeben, ob und welche Abhängigkeit zwischen $\varepsilon$ und $t$ Statt finde.

Ergiebt sich nach einiger Zeit eine sichere Regel zwischen $\varepsilon$ und $t$, d. h. ergiebt sich, dass bei *langsamem* Temperaturwechsel jeder Temperatur eine bestimmte Intensität des Stabmagnetismus entspricht, so

kann man die Hülfsnadel abnehmen und die Beobachtung des Thermometers für die der Hülfsnadel eintreten lassen, wie oben gesagt worden ist; ergäbe sich aber auch nach längerer Zeit keine sichere Regel zwischen $\varepsilon$ und $t$, was z. B. der Fall sein würde, wenn der Magnetismus des Stabes, wie bei *schnellem* Temperaturwechsel, durch Erwärmung mehr verliert, als er durch Erkaltung wieder gewinnt, oder wenn die Vertheilung des Magnetismus durch unbekannte Ursachen mit der Zeit regelmässige oder unregelmässige Aenderungen erlitte, so wäre auch dann geholfen, wenn man die Hülfsnadel hängen liesse und sie immer statt des Thermometers beobachtete: — kurz in jedem Falle wird auf diese Weise dem Uebelstande abgeholfen, welcher aus den Aenderungen des Stabmagnetismus, sie mögen von dem Einfluss der Temperatur oder von anderen Ursachen herrühren, für die Beobachtungen der Intensitäts-Variationen des Erdmagnetismus entspringt, weil man so die Aenderung des Stabmagnetismus, woher sie rühren möge, unmittelbar erfährt.

7.

Für den Fall, dass man durch diese Beobachtungen die Variationen des Stabmagnetismus allein kennen lernen will, lässt sich eine wesentliche Vereinfachung der Beobachtungen durch eine zweckmässige Aufstellung der Instrumente erreichen. Man ordne nämlich die Aufstellung des Bifilarmagnetometers und der Hülfsnadel so an, dass

$$q \tang \varphi = 1$$

d. i. so, dass die Tangente der Ablenkung $\varphi$ der Hülfsnadel der Cotangente des Torsionswinkels der bifilaren Suspension gleich sei, so wird

$$\varepsilon = -\tfrac{1}{2} \cot \varphi \cdot \alpha + \frac{1}{\sin 2\varphi} \cdot \beta$$

unabhängig erhalten von der Beobachtung $\gamma$ der Variation des Bifilarmagnetometers. Man kann also dann, um die Variation des Stabmagnetismus zu erfahren, die Beobachtung des Bifilarmagnetometers ganz ersparen, und es bleiben nur die beiden Beobachtungen $\alpha$ und $\beta$ des Unifilarmagnetometers und der Hülfsnadel zu machen übrig. Für gleiche Deklinationsstände wäre dann

$$\varepsilon = \frac{1}{\sin 2\varphi} \cdot \beta,$$

woraus z. B. für den Fall, dass $2\varphi = 90^0$ gemacht würde, hervorginge, dass die Variation des Stabmagnetismus in Theilen desselben eben so fein beobachtet werden könnte, wie die Variation des Azimuths der Hülfsnadel in Theilen des Halbmessers, weil $\varepsilon = \beta$ sein würde. Das Azimuth der Hülfsnadel wird aber durch Beobachtung mit Fernrohr,

Spiegel und Skale leicht bis auf einen Bruchtheil eines Skalentheiles genau beobachtet, der bei etwa 5 Meter Abstand des Spiegels von der Skale den 10000ten Theil des Halbmessers beträgt.

Durch obige Elimination der Beobachtung des Bifilarmagnetometers wird nicht blos eine Vereinfachung der Beobachtungen, sondern auch der Instrumente gewonnen, indem man das Fernrohr, welches sonst zur Beobachtung des Bifilarmagnetometers dient, auf die Hülfsnadel richten kann, und dadurch die Aufstellung eines besondern Fernrohres zur Beobachtung der letzteren erspart. Es versteht sich von selbst, dass diese Vereinfachungen wegfallen, wenn man aus den Beobachtungen die Variationen des Stabmagnetismus nicht allein, sondern zugleich auch die des Erdmagnetismus kennen lernen will.

8.

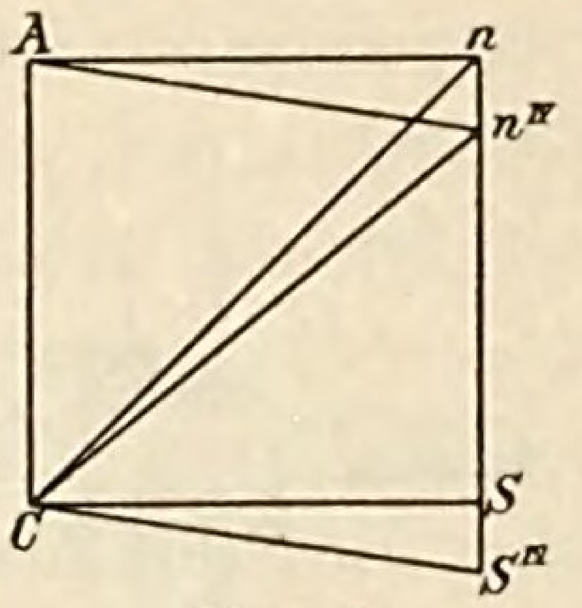
Es ist im Obigen vorausgesetzt worden, dass der Magnetismus der Hülfsnadel im Vergleich zu dem des zu prüfenden Magnetstabes sehr gering sei. Unter dieser Voraussetzung ist die Rückwirkung der Hülfsnadel auf das Magnetometer so klein, dass, wenn sie auch nicht selbst, doch ihre Variation unberücksichtigt bleiben konnte, wodurch die Rechnung wesentlich vereinfacht wurde. Eine stärkere, also auch schwerere Nadel würde das Gewicht vergrössern, welches die Suspensionsdrähte des Bifilarmagnetometers zu tragen haben, was in manchen Fällen unthunlich sein könnte. Sollten aber andere Gründe die Anwendung einer grösseren Hülfsnadel rathsam machen, so sieht man leicht ein, dass ihrem Gebrauch kein wesentliches Hinderniss entgegen steht. Es würden dann die oben gegebenen Regeln einige Modifikationen erleiden, deren Entwickelung aber nicht zum Zwecke dieses Aufsatzes gehört.

9.

Es möge endlich noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass zur Vereinfachung der Betrachtung die Suspension des Bifilarmagnetometers als unveränderlich und der Suspensionsdraht der Hülfsnadel von unveränderlicher Länge und verschwindend kleiner Torsion vorausgesetzt worden sind.

Erstens wäre die bifilare Suspension veränderlich, verminderte sich z. B. die daher rührende Direktionskraft $S$ um $\zeta S$, so würde dadurch eine Aenderung $q\zeta$ des Azimuths $CS$ des Bifilarmagnetometers entstehen, die auch auf das Azimuth der Hülfsnadel wirken würde. Es soll der Winkel $nCn^{IV} = \beta^{IV}$ gefunden werden, um welchen sich das Azimuth $Cn$ der Hülfsnadel dadurch ändern würde.

Fig. 7 sei $Cn^{IV} = D^{IV}$ die Resultante von $CA = Tm$ und $CS^{IV} = Mm$, die den Winkel $ACS^{IV} = 90^0 + q\zeta$ einschliessen; so ergiebt sich eben so wie Art. 2



Figur 7.

$$\frac{M}{T} = \frac{\sin(\varphi + \beta^{IV})}{\cos(\varphi + \beta^{IV} - q\zeta)} = \text{tang}\,\varphi$$

oder mit Vernachlässigung der höheren Potenzen und Produkte von $\beta^{IV}$ und $\zeta$

$$\beta^{IV} = q\zeta\sin^2\varphi.$$

Fügt man diese partielle Aenderung des Azimuths der Hülfsnadel den übrigen Art. 5 hinzu, so erhält man für ihre Summe $\beta = \beta' + \beta'' + \beta''' + \beta^{IV}$ den Werth

$\beta = \alpha\cos^2\varphi + \delta(q - \cot\varphi)\sin^2\varphi + \varepsilon(q + \cot\varphi)\sin^2\varphi + \zeta q\sin^2\varphi$ und eben so, wenn man die partielle Aenderung $q\zeta$ des Azimuths des Bifilarmagnetometers den übrigen Art. 5 hinzufügt, die Summe $q\gamma = q\delta + q\varepsilon + q\zeta$, oder

$$\gamma = \delta + \varepsilon + \zeta.$$

Aus diesen beiden Gleichungen würden $\delta$ und $\varepsilon$ gefunden, d. i. die Aenderung des Erdmagnetismus und Stabmagnetismus, jede in Theilen des Ganzen ausgedrückt, wenn $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ und $\zeta$ beobachtet und der Werth der Konstanten $q$ und $\varphi$ bekannt ist, nämlich es ergeben sich für $\delta + \frac{1}{2}\zeta$ und $\varepsilon + \frac{1}{2}\zeta$ dieselben Werthe, wie Art. 5 für $\delta$ und $\varepsilon$ allein,

$$\delta + \tfrac{1}{2}\zeta = +\tfrac{1}{2}\cot\varphi\cdot\alpha - \frac{1}{\sin 2\varphi}\cdot\beta + \tfrac{1}{2}(q\,\text{tang}\,\varphi + 1)\cdot\gamma$$

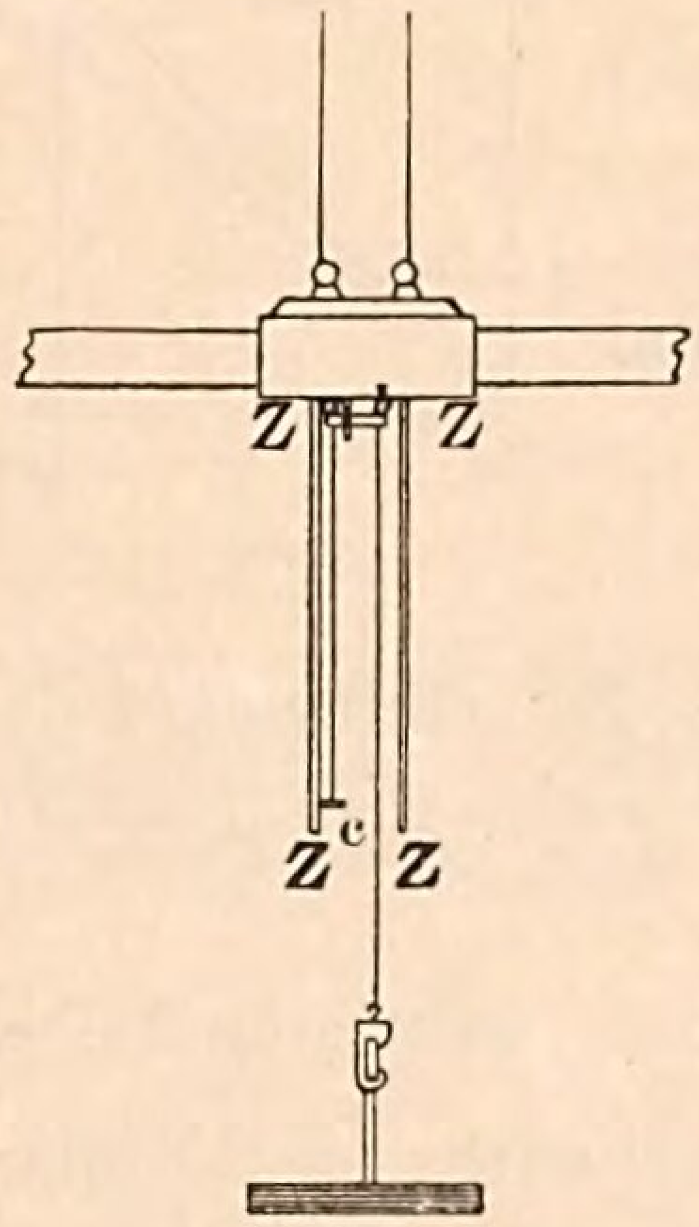
$$\varepsilon + \tfrac{1}{2}\zeta = -\tfrac{1}{2}\cot\varphi\cdot\alpha + \frac{1}{\sin 2\varphi}\cdot\beta - \tfrac{1}{2}(q\,\text{tang}\,\varphi - 1)\cdot\gamma.$$

Da hiernach von der wegen der Verminderung $\zeta S$ der Direktionskraft der bifilaren Suspension bei der Aenderung $\varepsilon M$ des Stabmagnetismus anzubringenden Korrektion ganz dasselbe gilt wie von der bei der Aenderung $\delta T$ des Erdmagnetismus, so kann hier wegen jener auf die Theorie des Bifilarmagnetometers verwiesen werden, wo diese erörtert worden ist.

## 10.

Zweitens, was den Abstand der Hülfsnadel vom Magnetometer betrifft, so sind seine Aenderungen sehr klein, wenn man einen Platindraht zur Suspension gebraucht; denn bei 1 Meter Länge beträgt sie dann für $1^0$ cent. kaum $\frac{1}{102}$ Millimeter. Aber auch hiervon kann, wenn man deshalb eine Korrektion vermeiden will, der grösste Theil durch eine Kompensation aufgehoben werden. Man befestige jenen Platindraht statt

an der Mitte des Magnetometerstabes am Ende $b$ Fig. 8 eines kleinen Hebels $ab$, der am oberen Ende einer Zinkröhre $zzzz$ sich befindet, die an die Mitte des Magnetometerstabes angeschraubt ist. Vom anderen Ende $a$ des Hebels wird ein zweiter Platindraht bis zum Ende $c$ der Zinkröhre ausgespannt. Man sieht dann leicht, dass weil die Zinkröhre mehr als der Platindraht $ac$ ausgedehnt wird, der Hebel $ab$ bei einer Temperaturerhöhung so gedreht werden muss, dass $b$ gehoben wird, was sich so einrichten lasse, dass es eben so viel betrage, wie sonst die Hülfsnadel von dem Magnetometer sich entfernen würde. Auch kann die Zinkröhre beliebig verkürzt werden, wenn der Hebelarm, woran der Platindraht $ac$ wirkt, kürzer ist als derjenige, woran die Hülfsnadel aufgehangen ist. Wenn die Ausdehnung der beiden Metalle Zink und Platin auch nur näherungsweise bekannt ist, so wird dies doch genügen, um allen aus dieser Quelle herrührenden Einfluss ganz unmerklich zu machen.



Figur 8.

11.

Was endlich drittens die Torsion des Drahtes betrifft, an welchem die Hülfsnadel aufgehangen wird, so gilt von ihr dasselbe, wie von der Torsion beim Unifilarmagnetometer. Der Torsionswinkel wird hier eben so wie dort ganz weggeschafft; der Torsionscoëfficient aber auf dieselbe Weise bestimmt und berücksichtigt, worüber nichts weiter beigefügt zu werden braucht.

12.

Die hier entwickelte Methode, die Intensitätsvariationen des Stabmagnetismus unmittelbar, ohne Kenntniss des Temperaturwechsels, der sie hervorbringt, zu finden, beruht auf dem bei der absoluten Intensitätsmessung angewandten Verfahren, zwei Beobachtungen zu kombiniren, deren eine zur Ermittelung des Produktes des Erdmagnetismus $T$ in den Stabmagnetismus $M$, die andere zur Ermittelung des Verhältnisses $\frac{M}{T}$ dient. Diese beiden Beobachtungen, welche bei der absoluten Intensitätsmessung *nach einander* gemacht werden, mussten zu obigem Zwecke *zugleich* ausgeführt werden, was möglich war, wenn der Stab, welcher den Magnetismus $M$ besitzt, bifilar aufgehangen und in transversale Lage gebracht wurde, wo bekanntlich durch Beobachtung seiner Stellung das Produkt $MT$ gefunden wird. In dieser transversalen Lage

ist dieser Stab aber zugleich geeignet, als Ablenkungsstab für eine Deklinationsnadel zu dienen, welche in einem bekannten Abstande südlich oder nördlich oder östlich oder westlich, oder vertikal darüber oder darunter aufgestellt wird, und es hindert dabei nicht, wenn der Ablenkungsstab *frei schwebt,* statt wie bei der absoluten Intensitätsmessung fest zu liegen, wenn er nur wirklich in *transversaler Lage* und in einem bestimmten Abstande von der Hülfsnadel sich befindet. Die Beobachtung der Deklination der durch ihn abgelenkten Hülfsnadel giebt dann das gesuchte Verhältniss $\frac{M}{T}$, wenn die wahre Deklination während dieser Beobachtungen bekannt ist, welche durch gleichzeitige Beobachtung eines dem Erdmagnetismus allein folgenden Unifilarmagnetometers erhalten wird.

Es würde ein grosser Gewinn sein, wenn die mit dem Bifilarmagnetometer gemachten Beobachtungen an die von Zeit zu Zeit ausgeführten Messungen der absoluten Intensität des Erdmagnetismus angeschlossen würden, so, dass alle Variationsbeobachtungen der horizontalen Intensität auf absolute Werthe reducirt werden könnten. Zur Erreichung dieses Zweckes sind jetzt alle nöthigen Mittel vorhanden. Darf man voraussetzen, dass bei langsamem Temperaturwechsel jeder Temperatur ein bestimmter Werth des Stabmagnetismus entspreche, so erreicht man jenen Zweck vollständig nach den in der ersten Abhandlung dieses Bandes gegebenen Vorschriften;[1]) darf man jene Voraussetzung nicht machen, so dient die in diesem Aufsatz beschriebene Methode zur Ergänzung.

*W.*

---

[1]) [Zur Bestimmung der Konstanten des Bifilarmagnetometers. Gauss' Werke, Bd. V, p. 404.]

XVI.

# Ueber magnetische Friktion.

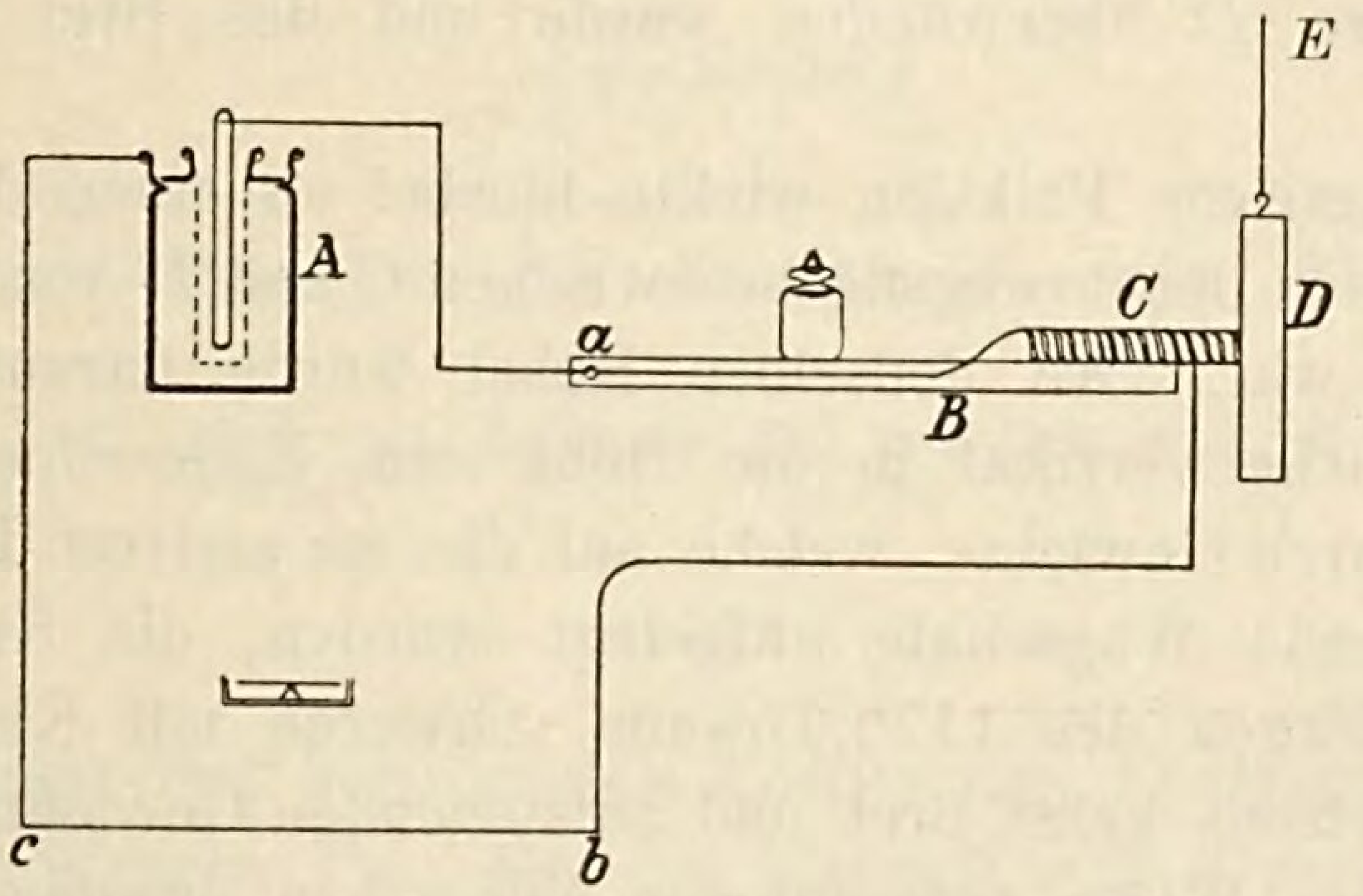
[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1840, IV, S. 46—58.]

---

Wenn man zwei Magnete mit denjenigen Theilen ihrer Oberfläche in Berührung bringt, auf denen nach der idealen Vertheilung des Magnetismus die Dichtigkeit des freien magnetischen Fluidums am grössten ist, und zwar auf der einen die des nördlichen, auf der anderen die des südlichen Fluidums, so ziehen sich die beiden Magnete mit der grössten Kraft an. Ist die Berührungsfläche horizontal, so kann der untere Magnet mit kleineren oder grösseren Gewichten belastet werden, die nebst seinem eigenen Gewichte getragen werden, ohne dass sie eine Trennung der beiden sich anziehenden Magnete zu bewirken vermöchten. Gewöhnlich nimmt man zu diesen Versuchen einen Hufeisenmagnet, mit dessen beiden nach unten oder oben gekehrten Endflächen ein Stück weiches Eisen in Berührung gebracht wird, welches man die Vorlage nennt, und welches bekanntlich durch diese Berührung mit einem Magnet selbst in einen Magnet verwandelt wird. Nach dem grössten vom Magnet getragenen Gewicht wird dann das *Tragvermögen* des Magnets geschätzt. Statt eines Hufeisenmagnets gebraucht man oft auch ein Hufeisen von weichem Eisen, welches mit einem dicken Kupferdraht umwunden wird, durch welchen ein galvanischer Strom geht, der das weiche Eisen magnetisch macht. Die Wirkung des Magnetismus ist bei allen diesen Versuchen eine doppelte: *erstens* eine unmittelbare, welche die *Entfernung* der sich berührenden Flächen hindert und durch das *Tragvermögen* bestimmt wird, *zweitens* eine mittelbare, welche die *Verschiebung* der sich berührenden Flächen an einander hindert und welche die *magnetische Friktion* heissen möge. Da meist nur die erste dieser beiden Wirkungen betrachtet zu werden pflegt, so soll hier die Aufmerksamkeit besonders auf die zweite gewandt werden, welche in der That nicht weniger Beachtung verdient wie jene.

1.

Fig. 1 stellt einen Apparat dar, welcher dazu bestimmt war, die magnetische Friktion zu messen. Er besteht aus einem weichen mit dickem Kupferdraht umwundenen Hufeisen *C*, welches auf einem horizontalen Brete *B* befestigt ist, über welches seine beiden Endflächen hinausragen und eine vertikale Vorlage *D* von weichem Eisen berühren.




Figur 1.

Letztere ist an einem starken Drahte oder Bande *E* aufgehangen und nimmt von selbst die Lage an, in welcher die Anziehungskraft des Hufeisens am grössten ist. Das horizontale Bret, welches das Hufeisen trägt, ist am anderen Ende mit einer horinzontalen Queraxe *a* versehen, um die es sich drehen würde, bis sein Schwerpunkt vertikal darunter zu liegen käme, wenn es nicht unterstützt oder durch magnetische Friktion zurückgehalten würde. Um das weiche Hufeisen magnetisch zu machen, diente ein kleiner Daniell'scher Becher *A*, dessen innere Kupferoberfläche etwas über 2 Decimeter gross, und der mit einer Mischung von schwefelsauer Kupferoxydauflösung mit Schwefelsäure gefüllt war, worin eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Schweinsblase getaucht wurde. Endlich wurde ein amalgamirter Zinkstab, an welchem das eine Ende des vom weichen Hufeisen kommenden Kupferdrahtes befestigt war, in diese letztere Flüssigkeit getaucht und ein am kupfernen Becher befestigter Kupferdraht zu dem anderen Ende des um das Hufeisen gewundenen Drahtes zurückgeführt. Ein 705 Millimeter langes Stück *cb* des zuletzt erwähnten Verbindungsdrahtes war unter einer horizontalen Tafel, auf welcher 72 Millimeter darüber eine Magnetnadel stand, in der Richtung des magnetischen Meridians geradlinig fortgeführt, um den durch den Draht gehenden galvanischen Strom durch die Ablenkung dieser Nadel zu messen. Uebrigens stand die Tafel von dem übrigen Apparate so entfernt und der Kupferdraht wurde senkrecht gegen den magnetischen Meridian zu ihr hin und von ihr fortgeführt, dass kein

merklicher Einfluss der übrigen Kette, ausser jenem 705 Millimeter langen Stücke, auf die Nadel zu befürchten war.

In dem Augenblicke, wo der galvanische Strom geschlossen und folglich das weiche Hufeisen magnetisch wurde, wurde die Stütze unter dem Brete weggezogen, die das Bret bisher getragen und gehindert hatte, sich um die Axe $a$ zu drehen. Darauf wurde das Bret mit Gewichten belastet, bis die magnetische Friktion des weichen Hufeisens $C$ an der Vorlage $D$ überwunden wurde und das Bret herabzusinken begann.

Die magnetische Friktion wirkte hierbei an einem Hebel, welcher dem Abstand der Berührungsfläche zwischen $C$ und $D$ von der Drehungsaxe $a$ gleich war. An denselben Hebel wurde darauf eine Schnur gebunden, welche vertikal in die Höhe zum Ende eines Wegbalkens führte, und durch Gewichte, welche auf die am anderen Ende des Wegbalkens hängende Wagschale aufgelegt wurden, die Kraft bestimmt, welche zum Tragen des 1170 Gramm schweren mit Kupferdraht umwundenen Hufeisens nebst Bret und aufstehenden Gewichten nöthig war. Aus 4 auf diese Weise ausgeführten Versuchen ergaben sich folgende 4 Bestimmungen für die magnetische Friktion:

1. 7020 Gramm
2. 7160 „
3. 7620 „
4. 7160 „

im Mittel also 7240 Gramm.

Die Ablenkung der Magnetnadel betrug hierbei $21^0 48'$. Der Kupferdraht, welcher das Hufeisen umwand, war $2^9/_{10}$ Millimeter dick und 8 Meter lang; der Widerstand des übrigen Leitungsdrahtes war $1^{15}/_{100}$ und der des Daniell'schen Bechers $8^{15}/_{100}$ mal grösser als der Widerstand jenes Drahts, welcher um das Hufeisen gewunden war.

2.

Um einen Begriff von der Stärke des im vorigen Artikel beschriebenen galvanischen Stromes zu erhalten, weiss man, dass $\frac{\sin\vartheta \,.\, g\mu\, ds}{r^2}$ das Moment ist, womit das linearische Element $ds$ eines galvanischen Stromes, dessen Stärke mit $g$ bezeichnet werde, ein Theilchen, dessen magnetisches Moment $\mu$ ist, senkrecht gegen die durch $\mu$ und die Richtung von $ds$ gelegte Ebene zu bewegen sucht. $r$ bezeichnet den Abstand von $\mu$ und $ds$, $\vartheta$ den Winkel, welchen $r$ mit der Richtung von $ds$ macht. Man fälle von der Mitte der Nadel auf das 705 Millimeter

lange Stück des Leitungsdrahtes ein Perpendikel $a = 72$ Millimeter, so ist $r = \frac{a}{\sin\vartheta}$ und $\mathrm{d}s = \frac{a\,\mathrm{d}\vartheta}{\sin\vartheta^2}$, folglich

$$\frac{g\mu\sin\vartheta\cdot\mathrm{d}\vartheta}{a} = \frac{\sin\vartheta\cdot g\mu\,\mathrm{d}s}{r^2},$$

woraus das Moment des ganzen 705 Millimeter langen Stückes, dessen Mitte vertikal unter der Nadel lag, sich ergiebt.

$$= \int\frac{g\mu\sin\vartheta\,\mathrm{d}\vartheta}{a},$$

wo das Integral innerhalb der Grenzen $\vartheta = \text{Arc Tang}\,\frac{72}{352{,}5}$ und $\vartheta = \pi - \text{Arc Tang}\,\frac{72}{352{,}5}$ zu nehmen ist, woraus jenes Moment gefunden wird

$$= 0{,}02722\cdot g\mu$$

Das Moment des horizontalen Theiles des Erdmagnetismus $T$ auf die Nadel ist dagegen $T\mu$. Aus der beobachteten Ablenkung der Nadel von $21^0\,48'$ ergiebt sich hiernach

$$T\mu\sin 21^0\,48' = 0{,}02722\cdot g\mu\cos 21^0\,48',$$

oder

$$\frac{g}{14{,}7} = T,$$

d. h. der galvanische Strom hatte eine solche Stärke, dass ein 14,7 Millimeter langes Stück desselben als vertikaler Kreisbogen von 14,7 Millimeter Halbmesser, in dessen Mittelpunkt die Nadel sich befände, auf letztere ein gleiches Moment, wie der horizontale Theil des Erdmagnetismus ausüben würde.

3.

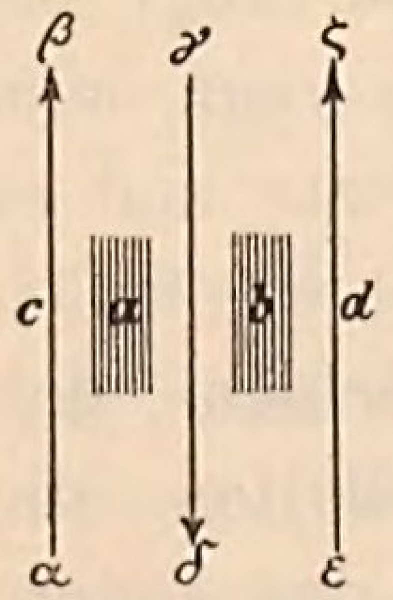
Ein solches durch den galvanischen Strom magnetisirtes weiches Hufeisen wird, wenn es die Peripherie eines eisernen Rades berührt, gleich einem Sperrhaken, die Drehung desselben hindern, so lange bis die magnetische Friktion überwunden wird. Umgekehrt, wenn man die Peripherie eines Rades mit solchen Hufeisen dicht besetzte und es auf einem anderen eisernen Rade oder auf einer eisernen Schiene rollen liesse, so würden beide Räder oder jenes Rad und diese Schiene sich eben so, wie wenn sie gezähnt wären, gegen einander verhalten: die magnetische Friktion würde verhindern, dass ein Rad ohne das andere sich bewegte, oder dass das Rad auf der Schiene gleitend sich verschöbe, wovon man in vielen Fällen eine nützliche Anwendung machen kann.

4.

Die meisten und stärksten Magnete, die man bisher dargestellt hat, erhielten entweder die Gestalt eines geraden oder hufeisenförmig gekrümmten Stabes und hiessen darnach *Stabmagnete* und *Hufeisenmagnete*. Diese Formen der Magnete sind besonders vortheilhaft, wenn man sie durch Streichen mit anderen Magneten magnetisirt. Bedient man sich aber zum Magnetisiren der Kraft eines galvanischen Stromes, so kann man Eisenmassen von anderer Form mit gleichem Erfolge magnetisiren, und zwar so, dass in den verschiedenen Theilen der Eisenmasse die magnetischen Flüssigkeiten nach sehr verschiedenen Richtungen geschieden werden. Auf diese Weise lässt sich zum Beispiel, wie im Folgenden gezeigt werden soll, ein eisernes Rad so magnetisiren, dass seine Peripherie eine stetige Folge von Hufeisenmagneten bildet, deren Nordenden und Südenden zusammen genommen zwei Kreise bilden, die einander parallel sind und deren Mittelpunkte in der Radaxe liegen, Ein so magnetisirtes eisernes Rad möge ein *Radmagnet* heissen.

5.

Man bilde einen Ring von weichem Eisen, welcher den Radkranz darstelle, und der, wie zu einem Schnurlauf, mit einer tiefen Rinne und mit einer Einfassung von Holz oder Messing versehen ist, durch welche noch zwei andere parallele Rinnen zu beiden Seiten des eisernen Ringes gebildet werden. In diesen 3 Rinnen winde man einen umsponnenen Kupferdraht um das Rad so auf, dass ein durch den Draht geleiteter galvanischer Strom in der mittelsten Rinne nach entgegengesetzter Richtung wie in den beiden äusseren um das Rad herumgeht. Um den Kupferdraht aus einer Rinne in die andere überzuleiten, ohne ihn über die vorspringenden Reifen des eisernen Radkranzes wegzuführen, versehe man letztere mit einer Kerbe oder mit einem kleinen Loch, in die der übergehende Draht eingelegt wird. Die beiden Drahtenden werden zu zwei von einander isolirten Zapfen geführt, welche die Radaxe bilden und mit den Polen einer galvanischen Säule in Verbindung gebracht werden. Betrachtet man alsdann Fig. 2 $a$ und $b$, die Stellen des Radkranzes, wo er mit den beiden hervorspringenden eisernen Reifen ein anderes eisernes Rad oder eine eiserne Schiene berührt (wo zwischen $a$ und $b$ die mittlere Rinne sich befindet, während zu beiden Seiten bei $c$ und $d$ die äusseren Rinnen liegen); so zeigen die Pfeile $\alpha\beta$, $\gamma\delta$, $\varepsilon\zeta$ die Richtungen des galvanischen Stromes in den 3 Rinnen, und man sieht, dass die Stromtheile $\alpha\beta$, $\gamma\delta$ sich wie Theile eines um $a$ herum geführten Kreisstromes verhalten und $a$ eben so magnetisiren wie den Schenkel eines Hufeisens, um welchen

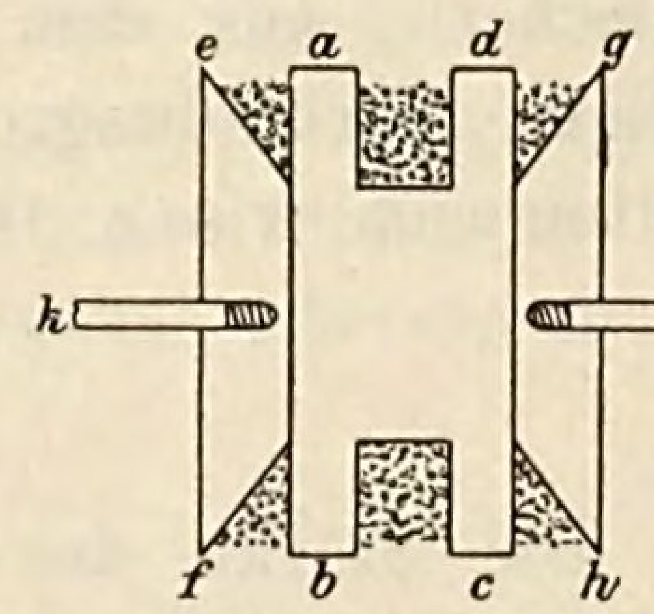


Figur 2.

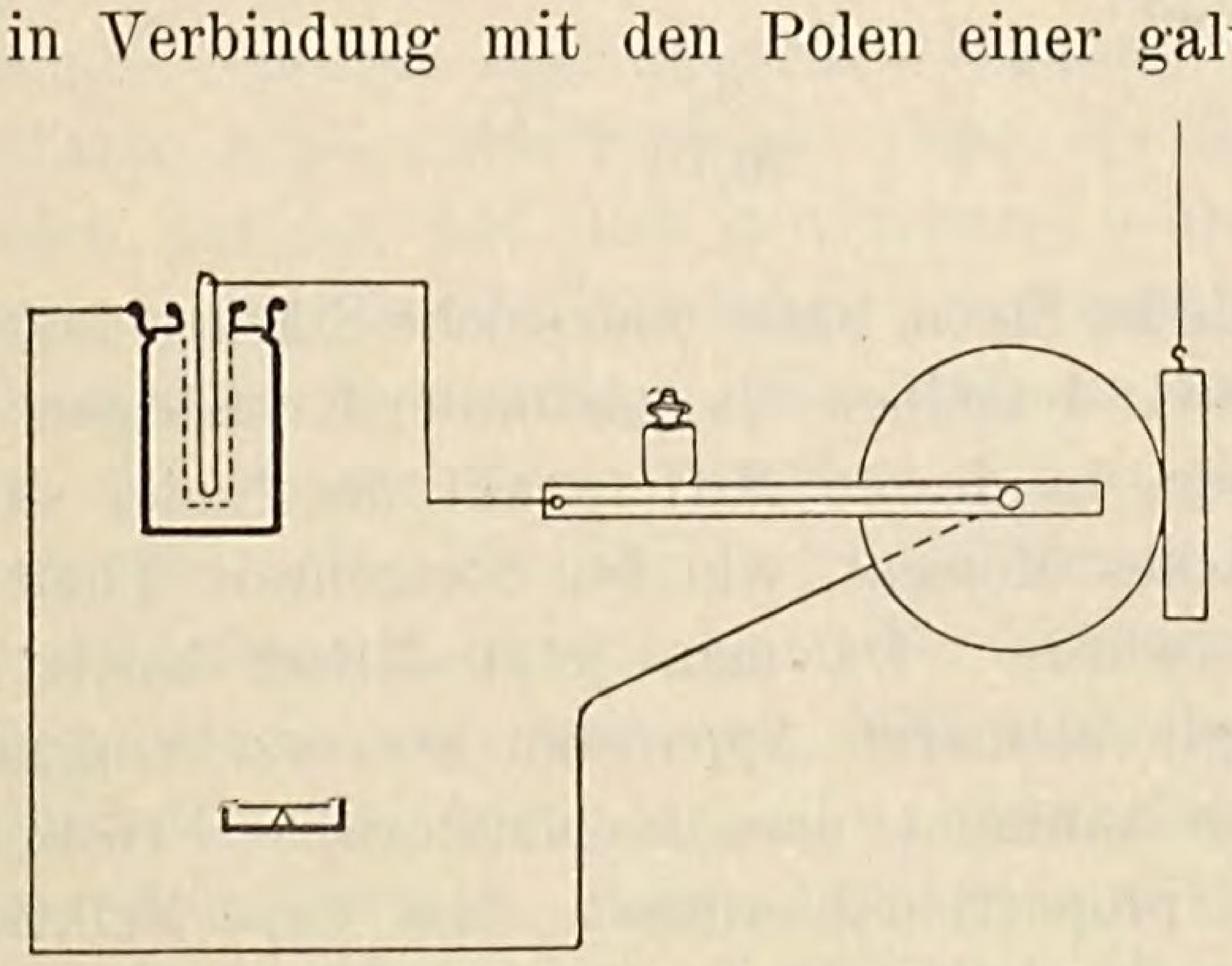
ein Kupferdraht gewunden ist, durch welchen ein galvanischer Strom in derselben Richtung geht. Die Stromtheile $\gamma\delta$, $\varepsilon\zeta$ verhalten sich dagegen wie Theile eines um *b* herumgehenden Kreisstromes und magnetisiren *b* eben so wie den anderen Schenkel jenes Hufeisens, um welchen der Kupferdraht entgegengesetzt gewunden ist. Hiernach verhalten sich also die beiden Stellen *a* und *b* wie die Endflächen eines Hufeisenmagnetes, wo man sich auf der einen das nordmagnetische, auf der anderen das südmagnetische Fluidum verbreitet vorstellen kann. Was aber von dieser Stelle des Radkranzes gilt, gilt auch von jeder anderen Stelle, woraus hervorgeht, dass die Peripherie des Rades sich wie eine stetige Folge von Hufeisenmagneten verhält, deren Nordenden und Südenden zusammengenommen zwei Kreise bilden, die einander parallel sind und deren Mittelpunkte in der Radaxe liegen. Ein solches Rad nennen wir also nach dem vorigen Artikel einen Radmagnet.

6.

Die magnetische Friktion eines solchen Radmagnetes lässt sich leicht auf ähnliche Weise wie die eines Hufeisenmagnetes durch Versuche bestimmen. Fig. 3 *abcd* stellt einen Cylinder von weichem Eisen im Querschnitt dar, welcher 147 Millimeter Durchmesser und 58 Millimeter Höhe hatte. Es war darin eine Rinne eingedreht, wie in der Figur angedeutet ist, welche 22 Millimeter breit und 50 Millimeter tief war. *ef* ist eine hölzerne Fassung, welche die eine Nebenrinne bildet, *gh* eine ähnliche Fassung, welche die andere Nebenrinne bildet. Die Enden des in der Rinne aufgewundenen Drahtes endigen in den von einander isolirten Zapfen *k* und *l*, welche in Verbindung mit den Polen einer galvanischen Säule



Figur 3.


Figur 4.

gebracht werden. Dieses Rad sieht man Fig. 4 auf ein horizontales Bret befestigt. Die übrige Fig. 4 dargestellte Einrichtung bedarf keiner

Erläuterung, weil sie die nämliche ist wie in Fig. 1 Art. 1. Weil der um das Rad gewundene Kupferdraht viel länger und dünner war, als der um das Hufeisen Fig. 1 gewundene, wurden hier 8 Daniell'sche Becher säulenartig verbunden, um einen stärkeren Strom zu erhalten. Aus 3 Versuchen ergaben sich dann folgende 4 Bestimmungen für die magnetische Friktion

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 9770 | Gramm | bei | 21° | Ablenkung |
| 2. | 11010 | „ | „ | 22½° | „ |
| 3. | 12710 | „ | „ | 24° | „ |
| 4. | 13730 | „ | „ | 25° | „ |

im Mittel also 14000 Gramm bei 25° Ablenkung der Nadel durch den galvanischen Strom, nach Reduktion der Versuche auf gleiche Stromstärke, nach dem Gesetze, dass die Friktion dem Quadrate der Stromstärke proportional ist. Das horizontale unter der Nadel liegende Stück der Kette, welches die Ablenkung hervorbrachte, war 526 Millimeter lang, und 120 Millimeter über der Mitte befand sich die Nadel.

Die galvanische Kette bestand aus 3 Theilen, nämlich aus den 8 Bechern, aus dem um das Rad gewundenen Drahte und aus den übrigen Verbindungsdrähten. Die Widerstände dieser 3 Theile verhielten sich wie 9 : 10 : 2.

7.

Die Stärke des im vorigen Artikel beschriebenen galvanischen Stromes lässt sich auf die nämliche Weise wie Art. 2 bestimmen. Substituirt man daselbst für $a$ 120 Millimeter und für die Grenzwerthe von $\vartheta$ Arc Tang $^{120}/_{263}$ und $\pi$ — Arc Tang $^{120}/_{263}$, so findet man für die Ablenkung von 25°

$$\frac{g}{30,76} = T,$$

d. h. der galvanische Strom hatte eine solche Stärke, dass ein 30,76 Millimeter langes Stück desselben als vertikaler Kreisbogen von 30,76 Millimeter Halbmesser, in dessen Mittelpunkt die Nadel sich befände, auf letztere ein gleiches Moment, wie der horizontale Theil des Erdmagnetismus ausüben würde. Da man jetzt Mittel besitzt, viel stärkere Ströme selbst mit kleineren Apparaten hervorzubringen, so sieht man leicht, wenn man annimmt, dass die magnetische Friktion dem Quadrate der Stromstärke proportional wächst, dass diese Friktion auf mehrere Centner zu steigern nicht schwer halten werde, wenn diese Grösse zu irgend einem Zwecke erforderlich sein sollte.

8.

Besondere Beachtung verdient bei der Betrachtung des beschriebenen Radmagnetes der Unterschied zwischen *Schiebung* und *Rollung* des Rades auf der Eisenschiene oder auf dem Rande eines anderen Rades. In den vorigen Artikeln ist die Friktion untersucht worden, insofern sie jene Schiebung hinderte, und es wurde zu diesem Zwecke das Rad so befestigt, dass gar keine Rollung möglich war. Es bleibt daher noch übrig, den Einfluss der magnetischen Friktion auf die Rollung des Rades zu prüfen. Wie der Gebrauch der Räder voraussetzt, dass die Schiebung ganz oder fast ganz gehindert sei, so fordert er dagegen, dass die Rollung ganz oder fast ganz frei bleibe. Hierbei zeigt sich nun vorzüglich der Vortheil, den die beschriebene stetige Magnetisirung des ganzen Radkranzes vor der Besetzung der Peripherie des Rades mit einzelnen noch so dicht an einander liegenden Hufeisenmagneten voraus hat; denn im letzteren Falle müsste jeder Hufeisenmagnet, welcher die eiserne Schiene berührte, beim Weiterrollen des Rades mit grosser Kraft abgerissen werden, wodurch die Rollung sehr erschwert werden würde; bei unserem stetig magnetisirten Rade dagegen halten die magnetischen Kräfte vor und hinter der berührten Stelle einander das Gleichgewicht, so, dass der geringste äussere Anstoss das Fortrollen des Rades bewirken kann, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht.

9.

Die eiserne Schiene, mit welcher das Rad in Berührung gebracht werden sollte, wurde auf eine horizontale Unterlage befestigt, welche, während das Rad darauf stand, langsam vorwärts oder rückwärts geneigt werden konnte, bis das Rad zu rollen begann. An den beiden von einander isolirten Zapfen des Rades, welche die Radaxe bildeten und mit den Enden des um das Rad gewundenen Kupferdrahtes verbunden waren, waren zwei bewegliche Ringe angebracht, von denen die Leitungsdrähte senkrecht in die Höhe und dann zu den beiden Polen der Säule führten. Die Säule konnte geöffnet und geschlossen werden, ohne in der Lage der mit dem Rad verbundenen Drähte etwas zu ändern. In 730 Millimeter Entfernung von der Drehungsaxe der horizontalen Unterlage wurde eine vertikale Millimeterskale angebracht, um den Unterschied der Neigung zu messen, wenn das Rad vorwärts und rückwärts zu rollen begann. Folgende Tafel enthält die Resultate der abwechselnd bei geschlossener und nicht geschlossener Säule gemachten Versuche:

| geschlossen | | ungeschlossen | |
|---|---|---|---|
| vorwärts Millimeter | rückwärts Millimeter | vorwärts Millimeter | rückwärts Millimeter |
| 55 | 38 | 48 | 45 |
| 54 | — | 48 | 45 |
| 55 | 38 | 48 | 45 |
| 55 | 38 | 48 | 45 |
| 55 | 38 | | |
| 55 | — | | |
| Mittel 54,8 | 38,0 | Mittel 48,0 | 45,1 |
| Unterschied 16,8 | | Unterschied 2,9 | |

die Stärke des Stromes wurde hierbei eben so wie Art. 6 durch die Ablenkung der Nadel bestimmt, welche 25° betrug, d. i. fast eben so viel, wie in den Art. 6 beschriebenen Versuchen. Aus diesen Versuchen ergiebt sich nun der hemmende Einfluss, welchen die magnetische Kraft auf die Rollung des Rades ausübte,

$$= \frac{16{,}8 - 2{,}9}{2 \cdot 730} \cdot 8500\,\mathrm{g} = 81\,\mathrm{g}$$

wo 8500 g das Gewicht des Rades ist, während die Friktion nach Art. 6

14000 g

betrug, woraus hervorgeht, dass die Rollung des Rades durch die magnetische Friktion nicht mehr gehemmt wurde, als wenn dieselbe Friktion durch ein grösseres Gewicht des Rades hervorgebracht worden wäre.

## 10.

Nur eine Anwendung des eben beschriebenen und untersuchten Radmagnetes möge hier erwähnt werden, die sich Jedem von selbst darbietet, welcher die Grundbedingung beachtet, wovon die Wirksamkeit des Radmagnetes abhängt. Seine Wirkung soll darin bestehen, dass er auf einer eisernen Unterlage oder Eisenbahn frei rollen aber nicht gleiten könne. Die Grundbedingung dieser Wirksamkeit ist also das Vorhandensein einer Eisenbahn, da sie zu diesem Zwecke nicht erbauet werden wird. Wenn aber solche Bahnen in grossem Maassstabe vorhanden sind, so scheint es wohl der Frage werth, ob das Eisen nicht auch durch seine magnetischen Eigenschaften, durch die es vor allen Körpern in der Natur ausgezeichnet ist, dem Zwecke dieser Anlagen dienen könne, eine Frage, die meines Wissens bisher weder aufgeworfen noch beantwortet worden ist.

Es fragt sich also, ob und wann der Fall bei Eisenbahnen vor-

komme, dass die Räder auf den Bahnen gleiten und dadurch ihren Dienst ganz oder theilweise versagen: ferner ob in solchen Fällen die die Gleitung hemmende magnetische Kraft ausreichen würde, um den Mangel der gleitenden Reibung vollständig zu ersetzen. Die Beantwortung der ersten Frage ist solchen Sachverständigen zu überlassen, welche nicht blos mit den Leistungen und Mängeln der Dampfwagen vertraut sind, sondern auch zu übersehen vermögen, welche Vortheile beim Bau und Gebrauch der Dampfwagen zu erlangen wären, wenn die gleitende Reibung keine Beschränkungen auferlegte. Was die andere Frage betrifft, ob die magnetische Kraft gross genug sein würde, so kann daran erinnert werden, dass jetzt sogar die Hoffnung und Erwartung häufig ausgesprochen wird, noch weit mehr mit magnetischen Kräften zu leisten, nämlich die Dampfmaschinen selbst dadurch zu ersetzen. Gegen die hierzu nöthigen Kräfte kommen jene kaum in Betracht, woraus von selbst einleuchtet, dass auch dann, wenn hierzu die magnetischen Kräfte sich unzureichend ergäben, sie doch dem obigen Zwecke noch vollkommen entsprechen könnten. In der That haben wir gesehen, dass bei einem kleinen Modell eines Rades mit einem mässig starken Strom über ein Viertel Centner gleitende Reibung hervorgebracht wurde, woraus man leicht ersieht, wie schon oben bemerkt worden, dass, zumal wenn die gleitende Reibung quadratisch mit der Stromstärke wächst, eine solche von mehreren Centnern bei jedem Rade hervorzubringen leicht gelingen würde, wodurch es möglich wäre, die Kraft, welche die Räder zu drehen sucht, ohne Gefahr des Gleitens auf der Bahn zu verdoppeln.

Die Friktion der Radmagnete auf der Eisenbahn würde den doppelten Vortheil gewähren, dass man erstens nach Belieben sie gebrauchen oder nicht gebrauchen, schwächen oder verstärken könnte; zweitens, dass sie von der Last des Dampfwagens unabhängig wäre, durch deren Vergrösserung man bisher allein eine grössere Friktion gewinnen konnte. Da die Friktion der Räder an der Bahn ein eben so wesentliches Element zur Fortbewegung ist, wie die Kraft selbst, welche die Räder dreht, so wäre es als ein Fortschritt anzusehen, wenn man jene Kraft eben so wie diese zu beherrschen lernte. Bei der Frage, ob eine Vergrösserung der Friktion der Räder, die nach Belieben und ohne Vergrösserung der Last der Dampfwagen eintreten kann, Bedürfniss sei, kommt die Anlegung von Eisenbahnen in bergigen Gegenden besonders in Betracht; denn hier nöthigt der Mangel der Friktion zu grossen Umwegen, um allmählig in die Höhe zu kommen und dieser Mangel kann hier nicht durch die Last des Dampfwagens gehoben werden, deren Vergrösserung hierbei sehr nachtheilig wirken würde.

11.

Auch darf nicht übersehen werden, dass mit der Anwendung der magnetischen Friktion bei Dampfwagen auf Eisenbahnen noch indirekte Vortheile verbunden sind, die vielleicht eben so wesentlich und wichtig sind, wie der oben erwähnte direkte Nutzen, welche darauf beruhen, dass die Kräfte, von denen jene Friktion herrührt, dicht am Berührungspunkte von Rad und Schiene ihren Sitz haben.

*Erstens* ist es eine bekannte Erscheinung bei Eisenbahnen, dass der Dampfwagen nicht gerade, sondern in einer Schlangenlinie auf der Bahn läuft, eine Erscheinung, die sich auf keine Weise beseitigen liess. Sie wird beseitigt durch die magnetische Friktion, welche die Mitte des Radkranzes auf der Mitte der Bahn festhält und seitlich auszuweichen hindert. Dieses Resultat ergab sich aus Versuchen, wo ein magnetisches Rad auf einer vertikalen Kreisschiene hin- und herrollte und immer auf der Mitte dieser Schiene blieb, während es sehr leicht von der Schiene seitlich abgleitete, wenn die galvanische Kette gelöst wurde.

*Zweitens* ist es ein bekannter Uebelstand bei Eisenbahnen, dass die Geschwindigkeit, mit welcher gefahren wird, keine beträchtlichen horizontalen Krümmungen der Bahn gestattet, weil die Schwungkraft das Gewicht vermindert, womit die Räder der inneren Seite des Bogens auf die Schiene drücken sollen und der Wagen dadurch Gefahr läuft nach aussen umzufallen. Die Magnetisirung des Rades und der Schiene bringt einen von der Schwere und Schwungkraft unabhängigen Druck hervor, und widersteht der Hebung des Rades von der Schiene mit einer Kraft, die ungefähr 6 Mal grösser als die magnetische Friktion selbst angenommen werden darf.

12.

Es ist bei der bisherigen Untersuchung der Radmagnete auf den Abstand der beiden durch eine Rinne von einander geschiedenen eisernen Reifen keine Rücksicht genommen worden. Man sieht leicht ein, dass dieser Abstand nicht gross sein darf, wenn beide Reifen auf einer und derselben Eisenschiene laufen und sie berühren sollen: es lässt sich dann durch eine schickliche Form des Querschnittes des Radkranzes bewirken, dass jener Abstand dabei klein und die magnetische Kraft doch gross ist. Jener Abstand muss dagegen sehr gross sein, wenn die beiden eisernen Reifen nicht auf einer, sondern auf beiden Gleisen der Bahn laufen sollen, d. i. wenn ein einziger Radmagnet ein ganzes Räderpaar des Dampfwagens vertreten soll. Für diesen letzteren Fall gelten aber die obigen Versuche über die Grösse der magnetischen Friktion

nicht, vielmehr sieht man leicht ein, dass die Friktion in diesem Falle viel kleiner sein müsse. Dessen ungeachtet verdient dieser Fall beachtet zu werden, weil dann die beiden eisernen Reifen um so sicherer mit den Schienen stets in Berührung bleiben würden, was nicht der Fall ist, wenn wie im ersteren Fall zwei eiserne Reifen auf jeder Schiene laufen sollen. Es schien daher interessant, auch hier die Grösse der magnetischen Friktion zu messen, was auf dieselbe Weise wie oben geschehen konnte, blos mit dem Unterschied, dass man die Schiene nur einen Reif statt beider berühren liess. Die so wiederholten Messungen ergaben das Resultat, dass bei 25° Ablenkung der Art. 6 beschriebenen Nadel durch den galvanischen Strom die magnetische Friktion der Eisenschiene an einem Eisenreife des magnetischen Rades

2163 g

betrug. Diese Friktion ist zwar viel kleiner als die unter gleichen Verhältnissen oben gefundene gleichzeitige Friktion beider Eisenreife an einer Schiene; dennoch würde dieser Fall den Vorzug verdienen vor dem ersteren, wenn der galvanische Strom hinreichend verstärkt werden könnte, um dadurch zu ersetzen, was durch mangelnden magnetischen Schluss verloren geht.

*W.*

XVII.

# Bemerkungen über magnetische Lokaleinflüsse in der Nähe von Göttingen.

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1840, VI, S. 64—69.]

Herr Professor HANSTEEN hat S. 60[1]) die Vermuthung geäussert, dass die horizontale Intensität in dem Garten östlich von der Göttinger Sternwarte, wo er beobachtet hat, und im magnetischen Observatorium, westlich von der Sternwarte aus irgend einer Lokalursache verschieden wäre, und hat den Wunsch ausgedrückt, dass darüber einige Versuche zur Prüfung gemacht würden.

Der Ort im Garten, wo Herr Professor HANSTEEN beobachtet hat, liegt 22 Meter südlich und 70 Meter östlich von dem Reichenbach'schen Kreise der Sternwarte. An dieser Stelle und auf dem Steinpostament am magnetischen Observatorium, dessen Lage S. 32[2]) bestimmt worden ist, wurden die folgenden Versuche gemacht.

Es versteht sich von selbst, dass bei solcher Nähe der beiden Orte, wo die Versuche schnell hinter einander gemacht werden konnten, und eine Veränderung des Nadelmagnetismus in der Zwischenzeit nicht zu befürchten war, an den beiden Orten keine absoluten, sondern komparative Intensitätsmessungen angestellt wurden, weil bei ihnen nur eine geringere Akkumulation der Beobachtungsfehler möglich ist, als bei der zu einer absoluten Intensitätsmessung erforderlichen Kombination von Versuchen.

Das transportable Magnetometer gestattet, diese komparativen Messungen auf doppelte Weise auszuführen, entweder durch Schwingungsversuche oder durch Ablenkungsversuche. Die Erfahrung scheint zu beweisen, dass die erstere Methode vorzuziehen sei, weil sie eine noch grössere Schärfe gestattet; doch soll beispielshalber auch eine kom-

1) [Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1840, Bd. V.]
2) [Resultate, 1840, II, GAUSS' Werke, Bd. V, p. 433.]

parative Messung durch Ablenkungsversuche angeführt werden, die an Genauigkeit wenig nachzustehen scheint.

Um die Aenderungen des Erdmagnetismus bei der Vergleichung der Beobachtungen an beiden Orten zu eliminiren, wurden gleichzeitige Beobachtungen der Schwingungsdauer im magnetischen Observatorium gemacht.

### 1. *Komparative Intensitätsmessung durch Schwingungen.*

Es wurde die Schwingungsdauer einer 100 Millimeter langen, 10 Millimeter dicken cylindrischen Nadel, welche zu einem transportabeln Magnetometer gehörte, zuerst neben dem magnetischen Observatorium, sodann im Garten der Sternwarte und zugleich die Schwingungsdauer des Magnetometers im magnetischen Observatorium beobachtet. Es ergab sich

| die reducirte Schwingungsdauer | | Magnetometer |
|---|---|---|
| März 20. um 5h im Garten | 7,0418 s | 20,7055 s |
| März 20. um 6h am magnetischen Observatorium | 7,0358 s | 20,7021 s |

hiernach für gleiche Zeit

| | |
|---|---|
| im Garten | 7,0418 s |
| am magnetischen Observatorium | 7,0370 s. |

Die Temperatur war nahe gleich, so dass deshalb keine Korrektion nöthig war. Die Intensität im Garten ergiebt sich hieraus um

0,00136

*kleiner* als am magnetischen Observatorium.

Ein zweiter Versuch ergab

| die reducirte Schwingungsdauer | | Magnetometer |
|---|---|---|
| März 21. um 10h am magnetischen Observatorium | 7,0356 s | 20,6939 s |
| März 21. um 11h im Garten | 7,0362 s | 20,7038 s |

für gleiche Zeiten also

| | |
|---|---|
| am magnetischen Observatorium | 7,0356 s |
| im Garten | 7,0328 s. |

Die Intensität im Garten ist hiernach um

0,00079

*grösser* als am magnetischen Observatorium.

## 2. *Komparative Intensitätsmessung durch Ablenkungen.*

Eine andere cylindrische Nadel von 100 Millimeter Länge und 10 Millimeter Durchmesser wurde benutzt, um Ablenkungen der Hülfsnadel im kupfernen Kästchen des transportabeln Magnetometers hervorzubringen. Für gleiche Abstände des Ablenkungsstäbchens ergab sich

| | | die mittlere Ablenkung |
|---|---|---|
| März 20. | $5^h$ am magnetischen Observatorium | $9^0 24' 10{,}4''$ |
| | $6^h$ im Garten | $9^0 23' 34{,}5''$. |

Gleichzeitig war die reducirte Schwingungsdauer im magnetischen Observatorium

März 20. $5^h$ $20{,}7055^s$
$6^h$ $20{,}7021^s$.

Im umgekehrten Verhältniss der Tangenten obiger Ablenkungen, d. i. im Verhältniss

$$1 : 1{,}00108$$

steht die horizontale Intensität der beiden Beobachtungsorte zu obigen Zeiten. Reducirt man diese Angaben, den Beobachtungen im magnetischen Observatorium gemäss, auf gleiche Zeit, so erhält man die Intensität im Garten um

$$0{,}00075$$

*grösser* als im magnetischen Observatorium.

Beachtet man, dass die letzten Ablenkungsversuche mit den ersten Schwingungsversuchen gleichzeitig gemacht sind, so sieht man leicht, dass man auch unabhängig von den Beobachtungen im magnetischen Observatorium den Einfluss der Intensitätsvariationen des Erdmagnetismus eliminiren könnte. Wenn nämlich $T$ und $T'$ die Intensität des Erdmagnetismus am magnetischen Observatorium am 20. März um $5^h$ und $6^h$, und $\tau$ den Lokaleinfluss im Garten bezeichnet, hätte man

$$7{,}0418^2 \cdot (T + \tau) = 7{,}0358^2 \cdot T'$$
$$T \cdot \operatorname{tang} 9^0 24' 10{,}4'' = (T' + \tau) \operatorname{tang} 9^0 23' 34{,}5'',$$

woraus sich durch Elimination von $T'$ die Intensität im Garten um

$$0{,}00031$$

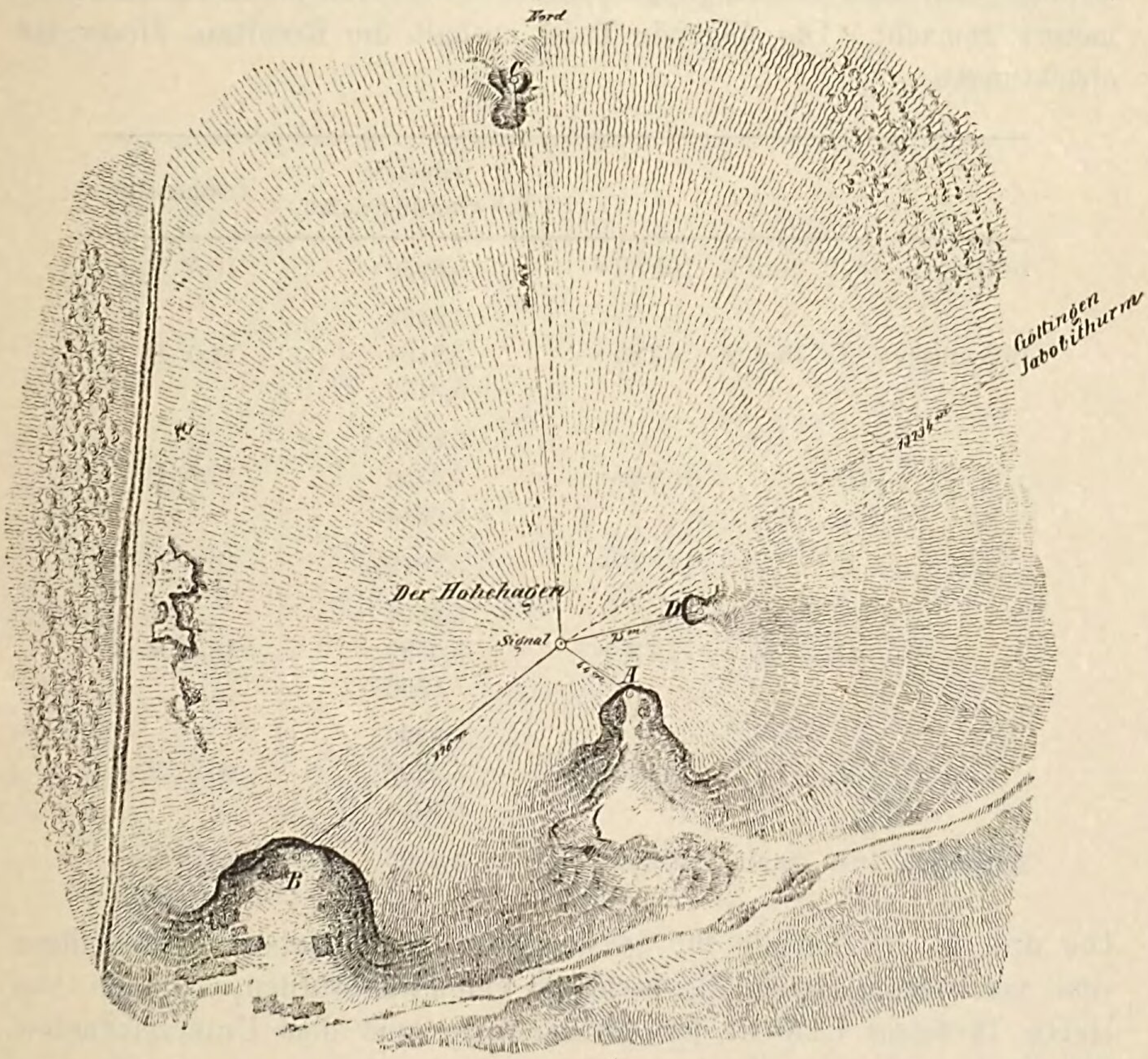
*kleiner* ergiebt, als am magnetischen Observatorium.

Es geht aus allen diesen Beobachtungen hervor, dass der Unterschied der Intensität an beiden Beobachtungsorten sehr klein sein müsse, da er theils positiv, theils negativ gefunden worden ist. Zu einer günstigeren Jahreszeit wird es möglich sein, diesen Versuchen eine

noch etwas grössere Schärfe zu geben und Abweichungen, die, wie hier der Fall war, auf $\frac{1}{500}$ steigen, zu vermeiden. Doch reichen auch diese Versuche schon hin, um zu beweisen, dass der Lokaleinfluss im Garten sicher nicht viel über $\frac{1}{1000}$ der ganzen horizontalen Intensität betrage und wahrscheinlich kleiner ist.

---

Während die bedeutenden Eisenmassen und mehrere grosse Magnetstäbe, welche in der Sternwarte sich befinden, nach obigen Versuchen




Maassstab $\frac{1}{5000}$

Figur 1.

schon in kleinen Entfernungen keinen merklichen Einfluss ausüben, hat sich dagegen ein sehr beträchtlicher Lokaleinfluss nahe bei Göttingen, auf der Spitze des Hohenhagens ergeben, die von Basalt gebildet wird. Es wird daher nicht ohne Interesse sein, die dort gemachten Beobachtungen hier schliesslich noch beizufügen. Die Spitze des Hohenhagens, wo sich ein Signal zu geodätischen Messungen befindet, liegt

6060 Meter südlich und 12448 Meter westlich vom Meridiankreise der Göttinger Sternwarte. Es wurde an vier Punkten beobachtet, die alle nahe bei jenem Signale sich befinden: drei dicht am steileren südlichen Abhange, wo der Basalt besonders mächtig ist, der vierte in etwas grösserer Entfernung am flachen nördlichen Abhange. Die Fig. 1 stellt die gegenseitige Lage und Entfernung dieser Standpunkte dar. Es wurden an allen diesen Orten, so wie vorher und nachher in Göttingen, stets komparative Intensitätsmessungen (aus dem oben angeführten Grunde) mit dem Schwingungsapparate eines transportabeln Magnetometers gemacht. Die folgende Tafel enthält die Resultate dieser Beobachtungen:

| | reducirte Schwingungsdauer | Temperatur |
|---|---|---|
| Göttingen, 1841. Juni 1. 10h 20m | 5,6930 s | 16,5° *R.* |
| Hohenhagen *A.* Juni 2. 9h 20m | 5,9163<br>5,9164<br>5,9172 | 14,0° *R.* |
| „ *B.* „ 10h 30m | 5,6348<br>5,6350<br>5,6344 | 15,0° *R.* |
| „ *C.* „ 11h 40m | 5,6840 | 16,0° *R.* |
| „ *D.* „ 1h 30m | 5,6604<br>5,6599<br>5,6596 | 16,5° *R.* |
| „ *A.* „ 2h 30m | 5,9209<br>5,9202<br>5,9210 | 20,0° *R.* |
| Göttingen, 1841. Juni 4. 10h 20m | 5,6996 | 16,0° *R.* |

Die drei in der Tabelle für denselben Ort angeführten Bestimmungen sind von verschiedenen Beobachtern gefunden worden, nämlich von Herrn Professor Ulrich, Dr. Goldschmidt und dem Unterzeichneten. Sie stimmen bis auf sehr kleine Unterschiede überein. Unter den verschiedenen Orten hat sich für *A* der kleinste Werth um 7,96 Procent kleiner als für Göttingen, für *B* der grösste Werth um 2,2 Procent grösser als für Göttingen, und 10,16 Procent grösser als für *A*, für die horizontale Intensität ergeben. Es ist zu vermuthen, dass an anderen Orten, wo noch grössere Basaltmassen sich befinden, noch grössere Lokaleinflüsse werden gefunden werden, die auch in grösseren Abständen noch merklich sein werden. Es würde sehr wünschenswerth sein, dass in einer solchen Gegend ein vollständiges System von Be-

obachtungen, nicht blos für die horizontale Intensität, sondern auch für die Deklination, und wo möglich auch für die Inklination ausgeführt würde, und magnetische Specialkarten darnach entworfen würden, an denen man die nothwendigen Relationen, welche unter den magnetischen Erscheinungen auch in einem so beschränkten Raume Statt finden müssen, durch die Erfahrung bestätigen könnte. Auch ist es wichtig, durch ein Beispiel genauer nachzuweisen, dass auch die stärksten vorkommenden Lokaleinflüsse, die in der Nähe sehr grosse Abweichungen hervorbringen, im Ganzen doch sehr wenig zum Erdmagnetismus beitragen.

*W.*

---

# XVIII.

# Erläuterungen zu den Terminszeichnungen und den Beobachtungszahlen.

[Im Auszuge.]

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1840, XV, S. 162—174.]

Es ist im vorigen Jahre von den Anstalten berichtet worden, welche zur Ausführung eines neuen über die ganze Erdoberfläche ausgedehnten Systems von magnetischen Beobachtungen getroffen worden sind, besonders insofern als sie auf unseren Verein Einfluss hatten. Diese Anstalten sind in diesem Jahre nicht allein fortgesetzt, sondern auch mehrfach erweitert worden. Es sind schon in diesem Jahre zahlreiche Beobachtungen von den neu gegründeten festen Observatorien in Toronto (in Ober-Kanada), St. Helena und Van Diemensland eingegangen, so wie Beobachtungen, welche Kapitän James Ross auf dem Wege nach dem Südpol in Kerguelens-Land gemacht hat. Zu den Erweiterungen gehört, dass zur genaueren Untersuchung der Lokaleinflüsse (welche von den der Berechnung der Elemente der Theorie des Erdmagnetismus zum Grunde zu legenden Beobachtungsresultaten möglichst ausgeschlossen werden sollen) magnetische Specialaufnahmen einiger besonders dazu geeigneter Gegenden, zunächst der Brittischen Besitzungen in Nordamerika, beschlossen worden sind; dass ferner die brittische Expedition ins Innere von Afrika benutzt werden soll, um Beobachtungen von einem Theile der Erdoberfläche zu erhalten, der bisher ganz unzugänglich gewesen ist. Was das Nähere aller dieser Unternehmungen betrifft, insbesondere auch die vom Russischen Gouvernement getroffenen und neuerlich sehr erweiterten Einrichtungen, um ein vollständiges System magnetischer Beobachtungen, welches das gesammte Russische Reich umfasst, zu gewinnen, und was zu gleichem Zwecke in Nordamerika vorbereitet wird, verweisen wir, so weit es keinen unmittelbaren Einfluss auf die Beobachtungen unseres Vereins hat, auf die darüber besonders erschienenen Berichte und beschränken uns hier auf die Be-

merkung, dass an allen neueren Stationen, die zu obigen Zwecken errichtet worden, auch alle diejenigen Beobachtungen gemacht werden, welche zunächst den Zweck unseres magnetischen Vereins bilden, aus denen bisher jährlich die zur Mittheilung geeigneten Resultate in diesen Blättern bekannt gemacht worden sind. Schon in diesem Jahre haben die Beobachtungen unseres Vereins hierdurch viele neue Beiträge erhalten, die noch dadurch vermehrt sind, dass von vielen der älteren Stationen die Beobachtungen, die bisher auf die Deklination beschränkt waren, auf die Intensität ausgedehnt wurden. Für die Zukunft wäre es noch wünschenswerth, von allen diesen Orten auch vollständige Angaben der absoluten Werthe aller magnetischen Elemente zu erhalten.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Die grössten Bewegungen in diesem Jahre sind im Maitermin vorgekommen, wo besonders die Verschiedenheiten zwischen Petersburg, Upsala und Kopenhagen merkwürdig sind.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Noch auffallender sind die Verschiedenheiten bei den Intensitätsbeobachtungen zwischen Petersburg und Göttingen. Die Ursachen der Variationen in diesem Termine scheinen hiernach zum Theil ihren Sitz unweit Petersburg gehabt zu haben. Gleichzeitig haben auch in Amerika, in Toronto, sehr grosse Bewegungen Statt gefunden, welche aber mit denen in Europa keine Aehnlichkeit zeigen. Nach brieflicher Mittheilung hat auch Herr Professor Bache in Girard College in Philadelphia sehr grosse Bewegungen beobachtet und bemerkt dabei, dass ein Nordlicht an diesem Tage sichtbar war. Ausführlicher hat Herr Professor Bache der *American Philosophical Society* darüber berichtet. — Am Ende der Beobachtungszahlen sind von diesem Termine (so wie auch von den beiden nachfolgenden) die in dem neugegründeten magnetischen Observatorium der Harvard Universität in Cambridge in Nordamerika gemachten Deklinationsbeobachtungen beigefügt worden, deren Vergleichung mit denen aus Toronto sehr interessant ist. — — — In St. Helena ist von diesen Bewegungen wenig zu bemerken, und wenn in Kerguelens-Land wieder stärkere Bewegungen hervortreten, so scheinen sie ganz anderen Ursachen als die nördlichen zugeschrieben werden zu müssen.

Auch der Augusttermin zeigt in den ersten 10 Stunden sehr grosse Bewegungen und auffallende Verschiedenheiten selbst unter den nördlichen europäischen Beobachtungen, besonders zwischen Petersburg und Dublin. — — — Noch mehr tritt diese Verschiedenheit hervor bei der kombinirten Darstellung der Deklination und Intensität — —, wo Petersburg und Dublin gar keine Aehnlichkeit erkennen lassen, die

zwischen Breda, Göttingen und Mailand (wo die Bewegungen schon klein sind) nicht zu verkennen ist. Die Intensitätsbeobachtungen in Dublin sind in diesem Termine so gross gewesen, dass die Skale mehrmals aus dem Gesichtsfeld des Beobachtungsfernrohres gekommen ist.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

In Toronto haben gleichzeitig noch grössere aber ganz verschiedene Bewegungen Statt gefunden, — — — doch verdient es Beachtung, dass die starken Bewegungen in Dublin und Toronto auch in die erste Hälfte des Termines fallen und dass in der zweiten Hälfte überall weit mehr Ruhe eingetreten ist.

Besonderes Interesse gewähren die Novemberbeobachtungen, wo an 14 Orten die horizontale erdmagnetische Kraft ihrer Richtung und Stärke nach vollständig beobachtet worden ist. Auch haben in den letzten 8 Terminsstunden sehr beträchtliche Bewegungen Statt gefunden.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Die Aehnlichkeit der Kurven aller Europäischen Stationen kann trotz mancher Verschiedenheiten nicht verkannt werden: nur Dublin weicht mehr ab. Dagegen zeigen die Kurven für Toronto und St. Helena weder unter einander noch mit den Europäischen die geringste Aehnlichkeit.

Wenn aus der Betrachtung dieser Variationen hervorzugehen scheint, dass sie sehr häufig von mehreren Ursachen zugleich hervorgebracht werden, die von sehr verschiedenen, jedoch meist im Norden von Europa, Asien und Amerika gelegenen Orten aus wirken, so erscheint es, um diese verschiedenen zusammen wirkenden Ursachen sondern zu können, von grossem Interesse, dass ein eben solches System korrespondirender Terminsbeobachtungen, wie wir für Europa besitzen, auch für Nordasien und Nordamerika erhalten werde. Und hierzu ist in den nächsten Jahren die Aussicht eröffnet, da das Russische Gouvernement Anordnungen getroffen hat, wonach ein System magnetischer Stationen von Petersburg bis Sitka (von $30^0\,19'$ bis $224^0\,35'$ östlicher Länge von Greenwich) eingerichtet werden soll, wovon mehrere schon in Wirksamkeit sind, wo überall dieselben Terminsbeobachtungen regelmässig ausgeführt werden sollen. Eben so ist in Nordamerika, ausser Toronto und Philadelphia, an der Harvard Universität in Cambridge ein magnetisches Observatorium zu gleichem Zwecke errichtet und Hoffnung zur Begründung noch mehrerer Stationen gegeben worden.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Zu den S. 216 mitgetheilten Intensitätsbeobachtungen auf der Spitze des Hohenhagens bei Göttingen, wo ein sehr beträchtlicher vom Basalt herrührender Lokaleinfluss Statt findet, mögen zur Ergänzung noch

folgende an denselben Punkten (Figur 1 S. 215 *A*, *B*, *C*, *D*) am 14. August 1841 gemachten Deklinationsbeobachtungen beigefügt werden.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Deklination | in | Göttingen | 18° | 11′ | 11″ |
| „ | „ | *A* | 17° | 2′ | 4″ |
| „ | „ | *B* | 17° | 10′ | 31″ |
| „ | „ | *C* | 18° | 11′ | 15″ |
| „ | „ | *D* | 19° | 18′ | 49″. |

Diese Beobachtungen sind so reducirt, dass sie für dieselbe Zeit, 14. August 1841, $10^h\,57^m$ Vormittags gelten.

*W.*

XIX.

# Bemerkungen über die Wahl der Magnetnadeln zu Magnetometern.

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1841, VI, p. 67—84.]

---

Die im vorigen Aufsatz[1]) S. 71 in der Note angeführte Stelle giebt zu folgenden Bemerkungen Veranlassung.

Es sind bisher in den Resultaten keine bestimmten Vorschriften über die Grösse und Schwingungsdauer der Magnetnadeln zu Magnetometern gegeben, sondern blos die Dimensionen und die Schwingungsdauer mitgetheilt worden, welche die Magnetnadeln der hiesigen Magnetometer besitzen, wobei zugleich auf manche Vortheile, welche durch diese Dimensionen erreicht werden, aufmerksam gemacht worden ist. Diese Dimensionen sind nun von vielen anderen Beobachtern beibehalten worden, was hauptsächlich darin seinen Grund hat, dass sich dieselben in der Anwendung vielfach bewährt hatten, so dass unter ähnlichen Verhältnissen, wie den hiesigen, kein Grund zu einer Abänderung vorzuliegen schien.

Die bei den hiesigen und ähnlichen Einrichtungen in Beziehung auf die Dimensionen und Schwingungsdauer der Nadeln in Betracht kommenden Umstände lassen sich unter folgenden Punkten kurz zusammenfassen:

1. Es ist wichtig, den wechselseitigen Einfluss der Magnetnadeln auf einander zu beachten, wenn mehrere Magnetometer in demselben oder in benachbarten Lokalen aufgestellt werden sollen. Im vorigen Bande sind deshalb *„Vorschriften zur Berechnung der magnetischen Wirkung, welche ein Magnetstab in der Ferne ausübt“* gegeben worden. Es leuchtet ein, dass die Grösse der Nadeln hierdurch beschränkt wird, weil jener Einfluss so klein sein soll, dass er als konstant betrachtet werden darf.

---

[1]) [Ueber die Einrichtung und die Instrumente des magnetischen Observatoriums in Dublin. Resultate 1841, Bd. V.]

2. Es kommen ferner die Beobachtungen in Betracht, welche mit der Nadel gemacht werden sollen, besonders diejenigen, welche zur Bestimmung der Schwingungsdauer dienen, wobei die Beobachtungen der Zeit und Elongation regelmässig abwechseln sollen. Die Schwingungsdauer der Nadel darf nicht zu kurz sein, um der vollständigen und genauen Ausführung dieser Beobachtungen nicht hinderlich zu werden. Im zweiten Bande ist die *„Anleitung zur Bestimmung der Schwingungsdauer einer Magnetnadel“* gegeben worden, wonach die erforderliche Schwingungsdauer sich bestimmen lässt. Soll nun bei dieser Schwingungsdauer die Nadel möglichst stark magnetisch sein, so wird dadurch der Kleinheit der Nadeln eine Grenze gesetzt.

3. Für die absoluten Intensitätsmessungen kommt der für die Ablenkungsstäbe vorhandene Raum in Betracht, weil die Dimensionen der Nadeln höchstens ein Fünftel oder ein Viertel so gross sein sollen, als der Abstand des Ablenkungsstabes von der Nadel. Hierdurch wird also wieder die Grösse der Nadeln beschränkt.

4. Für die absoluten Messungen der Deklination und der Intensität kommt in Betracht, dass die Nadel aus dem Schiffchen herausgenommen und wieder hineingelegt oder umgelegt werden muss, was bei sehr grossen Nadeln schwer auszuführen sein würde.

5. Kommt die Länge des Fadens oder Drahtes in Betracht, an welchem die Nadel aufgehängt werden soll. Der Querschnitt des Drahtes wächst nämlich proportional mit dem Gewichte der Nadel, während die Torsionskraft dem Quadrat des Querschnittes proportional und der Drahtlänge umgekehrt proportional ist. Soll nun die Torsionskraft nur ein geringer Bruchtheil von der magnetischen Kraft sein, so ergiebt sich eine Beschränkung des Gewichtes der Nadel für eine bestimmte Länge des Aufhängungsdrahtes.

6. Auch muss berücksichtigt werden, dass mit der Vergrösserung der Nadeln, vorausgesetzt, dass ihr Magnetismus mit ihrem Gewicht proportional wächst, die äusseren störenden Einflüsse vermindert werden, was den Vortheil gewährt, dass die Oeffnung des Kastens vor dem Spiegel während der Beobachtungen nicht verschlossen zu werden braucht.

7. Auch die Härtung und Magnetisirung der Nadeln kommt in Betracht, wovon die erstere der Dicke der Nadeln eine Grenze setzt, die letztere aber bei grossen Nadeln sehr starke Streichmittel erfordert: die Vergrösserung der Nadeln ist aber nur dann vortheilhaft, wenn sie gehörig magnetisirt werden können.

8. Ausser den obigen Rücksichten kommt endlich bei der Wahl der Nadeln auch der von Herrn Professor Lloyd erwähnte Umstand in Betracht, dass nämlich die Schwingungsdauer und folglich auch die Grösse der Nadeln beschränkt werden müsse, wenn sehr rasche Schwankungen

damit beobachtet werden sollen, weil der Einfluss der Schwingung von den wirklichen Variationen in den Beobachtungen sich nur dann sicher scheiden lässt, wenn die Schwankung der Variation so langsam, oder die Schwingungsdauer der Nadel so kurz ist, dass die Variation während *einer* Schwingungsdauer als der Zeit proportional genommen werden kann.

Aus diesem letzten Grunde meint nun Herr Professor LLOYD müssten grössere Magnetnadeln, welche sonst den kleineren vorzuziehen seien, verworfen werden, und es lasse sich daraus eine Grösse der Nadeln ableiten, welche von allen die vortheilhafteste sei.

Es ist hierbei nun zu bemerken, dass Herr Professor LLOYD diese Ableitung selbst nicht gegeben hat, und dass dieselbe im Allgemeinen auch nicht gegeben werden kann, weil dazu specielle Data erfordert werden, welche nach Ort und Umständen sehr verschieden sind. Wenn daher Herr Professor LLOYD behauptet, dass die von Herrn Hofrath GAUSS angewandten Nadeln zu gross seien, so muss diese Behauptung, wenn sie richtig sein soll, sehr beschränkt werden, z. B. auf solche Fälle, wo man sich dem magnetischen Pole der Erde sehr nahe befindet, oder wenn man bei sehr raschen Schwankungen die Beobachtungen in viel kürzeren Zeitintervallen als gewöhnlich ausführen könnte, um den Schwankungen genau zu folgen. Bei allen *hier* gemachten Beobachtungen, sowohl in den Terminen, als auch bei ausserordentlichen Gelegenheiten, z. B. bei der Erscheinung von Nordlichtern, ist bisher noch nie das Bedürfniss einer kürzeren Schwingungsdauer als 20 Sekunden, wie die Nadel im hiesigen Observatorium besitzt, eingetreten.

Bei jener Ableitung würden aber folgende Umstände besonders zu berücksichtigen sein:

1. Der Ort, wo die Nadel gebraucht werden soll, insofern die Schwingungsdauer der Nadel davon abhängt; denn dieselbe Nadel, welche im hiesigen magnetischen Observatorium eine Schwingungsdauer von 20 Sekunden hat, würde näher am magnetischen Pole eine grössere Schwingungsdauer haben, und es würde also schon deshalb das Bedürfniss einer kleineren Nadel mit kürzerer Schwingungsdauer daselbst früher eintreten.

2. Der Ort, wo die Nadel gebraucht werden soll, insofern die Schwankungen der Variationen davon abhängen. Diese Schwankungen sind z. B. in Petersburg, Stockholm, Upsala und Christiania grösser als in Göttingen, und hier grösser als in Mailand u. s. w. Auch aus diesem Grunde wird also in nördlichen Gegenden das Bedürfniss kleinerer Nadeln mit kürzerer Schwingungsdauer früher als in südlicheren Gegenden eintreten.

3. Die Grenzen, welche den Beobachtungen selbst zu setzen sind, damit sie nicht die Kräfte des Beobachters übersteigen. Sonst glaubte

man, dass es genügte, den Stand der Nadel von Stunde zu Stunde oder von halber Stunde zu halber Stunde zu beobachten; erst seit Einführung der Magnetometer ist die Nothwendigkeit, in viel kürzeren Zeitintervallen zu beobachten, anerkannt, und es sind daher jetzt für die Termine Zeitintervalle von 5 Minuten eingeführt worden. Gewöhnlich reicht dies auch hin; doch treten bisweilen Erscheinungen ein, wo es nöthig wird, jene Zeitintervalle zu halbiren. Auch kommen, wiewohl seltener, Fälle vor, wo selbst dies noch nicht genügt, sondern eine Verkürzung der Zeitintervalle auf 1, $^1/_2$ oder $^1/_3$ Minute nöthig wird. Zur Befriedigung aller dieser Forderungen reicht noch immer eine Schwingungsdauer von 20 Sekunden aus. Eine absolute Grenze für die Geschwindigkeit der Schwankungen lässt sich nun aber nicht bestimmen; wie weit man also auch die Verkürzung der Intervalle triebe, so könnte doch immer einmal der Fall vorkommen, dass sie noch nicht genügte, um den Schwankungen stetig zu folgen. Kann man nun der Erscheinung keine feste Grenze setzen, so muss man doch ihrer Beobachtung eine solche setzen, von wo an man aufgiebt, ihr stetig zu folgen. Bei dieser Begrenzung der Beobachtungen kann man nun Zeitintervalle von 20 bis 10 Sekunden wählen; weiter würde man nicht gehen dürfen, weil bei noch kürzeren Intervallen die Genauigkeit der Beobachtungen leiden würde. Aeusserst selten wird der Fall vorkommen, wo Intervalle von 10 Sekunden genügend, Intervalle von 20 Sekunden aber ungenügend wären. Es scheint daher kein hinreichender Grund vorzuliegen, warum man sich nicht mit Intervallen von 20 Sekunden, welche für den Beobachter sehr bequem sind, begnügen sollte, da doch gewöhnlich schon Intervalle von 5 Minuten hinreichen, zumal wenn dadurch eine längere ununterbrochene Fortsetzung der Beobachtungen möglich würde. Sollte man aber wirklich Grund haben, auf solche äusserst seltene Fälle besonderes Gewicht zu legen, so würde es viel rathsamer sein, ein besonderes Instrument dazu einzurichten, wo man es wohl dahin bringen könnte, dass die Schwingungsdauer kaum eine Sekunde betrüge; es müsste dann freilich für eine sehr starke Dämpfung und guten Verschluss gesorgt werden, um den Einfluss der Schwingungen unmerklich zu machen.

4. Endlich kommt auch noch die Anordnung der Beobachtungen in Betracht. Hier wird stets vorausgesetzt, wie es im ersten Bande der *Resultate* S. 37[1]) vorgeschrieben ist, dass die Schwingungsbögen der Nadel immer sehr klein erhalten werden, entweder durch die Anwendung eines Beruhigungsstabes oder eines Dämpfers. Alsdann ergiebt sich der wirkliche Stand der Nadel für einen bestimmten Augenblick

---

[1]) [Gauss' Werke, Bd. V, p. 544.]

aus einer vorher und nachher gemachten Beobachtung, die von einander durch die Zeit der *einfachen* Schwingungsdauer getrennt sind. Ohne Dämpfer (und wenn auch keine anderen äusseren Ursachen, wie der Widerstand der Luft, zur schnellen Verkleinerung des Schwingungsbogens wirken) findet man nämlich diesen Stand, wenn man die letzte Beobachtung der ersteren um die halbe Differenz nähert; bei Anwendung eines Dämpfers dagegen, ist statt der halben Differenz ein kleinerer Bruchtheil nach Verhältniss der Dämpfungskraft zu nehmen. Diese Anordnung vorausgesetzt reicht also die Schwingungsdauer unserer Nadel von 20 Sekunden überall aus, wo die Variationsschwankungen in dieser kurzen Zeit nicht merklich sind, d. h. wo die Variationen für einen Zeitraum von 20 Sekunden der Zeit proportional genommen werden können.

Diese Anordnung, welche hier stets vorausgesetzt wird, hat aber Herr Professor Lloyd nicht angenommen, wie daraus erkannt wird, dass er zur Bestimmung des Standes der Nadel drei Beobachtungen für nöthig hält, wovon die erste und letzte durch den Zeitraum einer *doppelten* Schwingungsdauer geschieden wären, und wobei man annehmen müsste, dass die Variation während dieser doppelten Schwingungsdauer der Zeit proportional wäre; denn dies gilt nur für grössere Schwingungsbögen. Auf diese weniger günstige Anordnung der Beobachtungen, wo man grössere Schwingungsbögen gestattet, bezieht sich nun auch die von Herrn Professor Lloyd angewandte vortheilhafteste Grösse der Nadeln. Benutzt man aber den Vortheil, welchen kleinere Schwingungsbögen gewähren, so leuchtet von selbst ein, dass man sich mit gleichem Rechte einer doppelt so grossen Schwingungsdauer, als Herr Professor Lloyd, bedienen könne.

Es möge endlich darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Methoden zur Berechnung des Standes wohl unterschieden werden müssen, je nachdem ein *Dämpfer* gebraucht wird oder nicht. Man sehe deshalb den zweiten Band der *Resultate* S. 78.[1]) Die vom Herrn Professor Lloyd zum Grunde gelegte Methode setzt *ohne* Dämpfer gemachte Beobachtungen voraus.

Beispielshalber werde hier die grösste Deklinationsschwankung, welche in Göttingen beobachtet worden ist, während des Nordlichtes am 18. Februar 1837 Abends, angeführt. In kaum 4 Minuten fanden 2 Maxima und 1 Minimum Statt, die um fast 10 Bogenminuten von einander abweichen.

---

[1]) [Gauss' Werke, Bd. V, p. 381.]

| Zeit | Deklination 18° 44′ | Zeit | Deklination 18° 44′ |
|---|---|---|---|
| 9h 6m 0″ | — 94″ | 8h 8m 0″ | — 219″ |
| 10″ | — 91″ | 10″ | — 153″ |
| 20″ | — 84″ | 20″ | — 91″ |
| 30″ | + 15″ | 30″ | — 55″ |
| 40″ | + 151″ | 40″ | + 15″ |
| 50″ | + 279″ | 50″ | + 149″ |
| 7m 0″ | + 302″ | 9m 0″ | + 272″ |
| 10″ | + 281″ | 10″ | + 283″ |
| 20″ | + 223″ | 20″ | + 194″ |
| 30″ | + 81″ | 30″ | + 138″ |
| 40″ | — 127″ | 40″ | + 87″ |
| 50″ | — 260″ | 50″ | — 31″ |
| | | 10h 0m 0″ | — 196″ [1] |

*W.*

[1] [Diese Beobachtungen sind in den Resultaten 1841, Taf. IX, Fig. 7 graphisch dargestellt.]

## XX.

# Magnetisirung des Eisens durch die Erde.

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1841, VII, S. 85—98.]

Es ist eine sehr einfache Idee, dass man, statt den Erdmagnetismus unmittelbar zu beobachten, einen weichen Eisenstab beobachten könne, welcher von der Erde magnetisirt sei, um von dem Magnetismus des Eisens mittelbar auf den Magnetismus der Erde zu schliessen. Zwar wird die direkte Methode überall, wo sie anwendbar ist, vor einer solchen indirekten den Vorzug verdienen, und dies ist wirklich der Fall in Beziehung auf die Beobachtung der beiden horizontalen Elemente des Erdmagnetismus, nämlich der Deklination und der horizontalen Intensität, sowohl was ihren absoluten Werth, als auch was ihre Variation betrifft. Anders verhält es sich aber mit der vertikalen Intensität des Erdmagnetismus oder mit der Inklination. Zwar ist es gelungen, mit Hülfe der feinsten Instrumente den absoluten Werth der Inklination mit grosser Genauigkeit zu bestimmen; es ist aber noch nicht gelungen, die Variationen der Inklination mit derselben Genauigkeit zu beobachten, wie die Variationen der beiden horizontalen Elemente. Dies ist der Grund, warum Herr Professor Lloyd in Dublin auf jenem indirekten Wege zu erreichen versucht hat, was auf direktem Wege nicht erreicht werden zu können scheint.

Herr Professor Lloyd hat zur Ausführung dieser Idee ein Instrument angegeben, welches er *Induktions-Inklinometer* nennt, von welchem oben S. 76, 77[1]) das Nähere mitgetheilt worden ist. Mit diesem Instrumente wird jetzt in Dublin nicht allein an den Terminen, von 5 zu 5 Minuten, sondern auch täglich, von 2 zu 2 Stunden, beobachtet. Diese Beobachtungen, zumal wenn sie auf gleiche Weise an mehreren benachbarten Stationen ausgeführt werden, sind am besten geeignet, über den Werth und den Nutzen der neuen Methode zu entscheiden, um so mehr, als die bisher über die Magnetisirung des Eisens an-

[1]) [Ueber die Einrichtung und die Instrumente des magnetischen Observatoriums in Dublin. Resultate 1841. V.]

gestellten Versuche noch zu unvollständig und zu ungenau sind, um darauf ein genügendes Urtheil zu gründen.

Ungeachtet die Magnetisirung des Eisens durch die Erde sehr lange bekannt ist, so ist doch bisher noch keine Bestimmung von der Stärke des Magnetismus gegeben worden, welche das Eisen auf diese Weise annimmt. Diese Bestimmung, nach absolutem Maasse genau ausgeführt, würde sowohl für die Theorie von Interesse sein, als auch mehrfache praktische Anwendung gestatten. Der Magnetismus, welchen das Eisen durch die Erde mitgetheilt erhält, ist nun zwar so schwach, dass er sich schon darum nicht so genau messen lässt, wie der konstante Magnetismus eines starken Stahlmagnetes. Dazu kommt noch, dass fast alle Eisenstäbe auch etwas bleibenden Magnetismus besitzen, der bisweilen stärker ist, als jener veränderliche, so dass es nöthig wird, durch Kombination mehrerer verschiedener Versuche den veränderlichen Magnetismus vom bleibenden zu scheiden. Wenn aber aus solchen Gründen eine Messung des von der Erde dem Eisen mitgetheilten Magnetismus nicht so fein sein kann, so wird doch auch eine etwas weniger feine Bestimmung nicht ohne Interesse sein. Ich habe daher einige Versuche mit einem ähnlichen cylindrischen Eisenstabe gemacht, wie Herr Professor Lloyd gebraucht hat, und habe den Magnetismus, den er durch die Erde erhielt, nach absolutem Maasse näherungsweise zu bestimmen gesucht.

Dieser 290 Millimeter lange und 617,9 Gramm schwere Stab wurde dem magnetischen Meridian parallel horizontal aufgestellt. Es lässt sich leicht nachweisen, dass, wenn er in dieser Lage die Nadel eines entfernten Unifilarmagnetometers am stärksten ablenken soll, die Linie, welche die Mitte des Stabes mit der Mitte der Magnetnadel verbindet, einen Winkel von 45° mit dem magnetischen Meridian bilden müsse. Der Stab kann bei gleicher Entfernung auf 8 Arten in eine solche Lage gebracht werden, nämlich an vier verschiedenen Stellen, die von der Nadel in der Richtung nach *NO*, *SW*, *NW* und *SO* gelegen sind, wobei sein eines bezeichnetes Ende entweder nach Norden oder nach Süden gekehrt wird. Die folgende Tafel giebt die Resultate der auf diese Weise gemachten Beobachtungen, wo von den korrespondirenden Beobachtungen in *NO* und *SW*, so wie von denen in *NW* und *SO*, welche nahe mit einander übereinstimmen, blos die Mittelwerthe angegeben sind.

| Bezeichnetes Ende | *NO* und *SW* | *NW* und *SO* |
|---|---|---|
| nördlich | 304,80 | 267,52 |
| südlich | 279,85 | 300,33 |

Der Bogenwerth eines Skalentheiles in Theilen des Halbmessers war $\frac{1}{2960}$; 800 Millimeter war der Abstand der Mitte des Eisenstabes von der Mitte der Nadel; 150 Millimeter war die Länge der Nadel.

Soll hieraus die absolute Intensität des Eisenmagnetismus abgeleitet werden, so kann der Einfluss der fünften und der höheren Potenzen der Entfernung auf die beobachteten Ablenkungen nicht berücksicht werden, weil sonst noch mehrere Versuchsreihen in grösserer Entfernung, z. B. von 1100 statt 800 Millimetern, hätten gemacht werden müssen, wo die Ablenkungen zu klein wurden, um genau beobachtet zu werden. Bezeichnet man mit $v$ die Ablenkung, welche der veränderliche, mit $c$ die Ablenkung, welche der bleibende Theil des Eisenmagnetismus allein hervorgebracht haben würde, so erhält man aus obigen Beobachtungen

$$v + c = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{304{,}80 - 267{,}52}{2960}$$

$$v - c = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{279{,}85 - 300{,}33}{2960},$$

folglich

$$v = 0{,}00142$$

$$c = 0{,}00488.$$

Wendet man hierauf den im zweiten Bande der *Resultate* S. 23 [1]) angeführten Satz an, so ergiebt sich das Drehungsmoment, welches der Eisenmagnetismus $M$ auf den Nadelmagnetismus $m$ aus der Entfernung $R$ ausübt, wenn die gerade Linie, welche die Mitte des Eisenstabes mit der Mitte der Nadel verbindet, einen Winkel von 45° mit dem magnetischen Meridian bildet, und der Eisenstab dabei dem magnetischen Meridian parallel ist,

$$= \tfrac{3}{2} \frac{Mm}{R^3} \cdot \cos v,$$

wo $v$ die Ablenkung bezeichnet. Dieses Drehungsmoment wurde von dem Momente $Tm \sin v$, welches der horizontale Theil $T$ des Erdmagnetismus auf die Nadel $m$ ausübte, aufgehoben, folglich ist

$$\tfrac{3}{2} \frac{Mm}{R^3} \cos v = Tm \sin v$$

oder

$$M = \tfrac{2}{3} R^3 T \cdot \operatorname{tang} v.$$

Bezeichnet hier $M$ den veränderlichen Theil des Magnetismus im Eisenstab, welchen derselbe durch den horizontalen Theil $T$ des Erdmagnetismus erhielt, [2]) so ergiebt sich nach dem Gesetz der Propor-

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 45.]

[2]) Ausser dem horizontalen Theil des Erdmagnetismus wirkte zwar auch der Magnetismus der Nadel auf den Eisenstab; der hiervon herrührende Theil des veränderlichen Magnetismus im Eisen war aber bei der Kleinheit der gebrauchten Nadel und bei ihrer Lage gegen den Eisenstab so klein, dass er gegen den von der Einwirkung des horizontalen Erdmagnetismus herrührenden Theil vernachlässigt werden konnte.

tionalität für die Einheit der erdmagnetischen Kraft der Werth des veränderlichen Theiles des Eisenmagnetismus

$$\frac{M}{T} = \tfrac{2}{3}\,R^3 \operatorname{tang} v.$$

Setzt man hierin bei der Kleinheit der Ablenkung

$$\operatorname{tang} v = v = 0{,}00142,$$

so findet man, da $R = 800$ war,

$$\frac{M}{T} = \tfrac{2}{3} \cdot 800^3 \cdot 0{,}00142 = 484\,700.$$

Für einen zweiten ganz ähnlichen Eisenstab, der einen weit geringeren bleibenden Magnetismus besass, ergab sich aus ähnlichen Versuchen $M/T = 443\,800$; also im Mittel für beide Stäbe 464250.

Von diesem Resultate lässt sich nun leicht eine Anwendung auf das von Herrn Lloyd angegebene Induktions-Inklinometer machen. Ist zum Beispiel nach absolutem Maasse der vertikale Theil des Erdmagnetismus $= 4{,}35$, so würde ein solcher Eisenstab, wie zu obigen Versuchen gebraucht wurde, dem Gesetz der Proportionalität gemäss, in vertikaler Lage

$$4{,}35 \cdot 464\,250 = 2\,019\,500$$

freien Magnetismus annehmen. Soll nun ein solcher vertikaler Stab aus grösserer Entfernung auf eine horizontale Nadel das grösste Drehungsmoment ausüben, so muss der Stab, wie sich leicht beweisen lässt, in einer auf die magnetische Axe der Nadel senkrechten Ebene liegen, und die Linie von der Mitte des Stabes zur Mitte der Nadel muss einen Winkel von $45^0$ mit dem Horizonte machen, wo dann nach dem oben angeführten Satze dieses Drehungsmoment

$$= \tfrac{3}{2}\,a\mathrm{S}\,\frac{m}{R^3}$$

gefunden wird, wenn $a = 464\,250$, S den vertikalen Erdmagnetismus nach absolutem Maasse, und $R$ den Abstand der Mitte des Stabes von der Mitte der Nadel bezeichnet. Dieses Drehungsmoment kann verdoppelt werden, wenn man zwei ganz ähnliche Eisenstäbe auf beiden Seiten der Nadel einander diametral gegenüber aufstellt, wo man also das Drehungsmoment

$$= 3\,a\,\mathrm{S}\,\frac{m}{R^3}$$

erhält. Da nun das Drehungsmoment, welches der horizontale Theil $T$

des Erdmagnetismus auf dieselbe Nadel bei einer Ablenkung $v$ ausübt, $= Tm \sin v$ ist, so erhält man für das Gleichgewicht

$$\frac{3\,a\mathrm{S}}{R^3} = T \sin v$$

oder

$$\sin v = \frac{3\,a}{R^3} \cdot \frac{\mathrm{S}}{T} = \frac{3\,a}{R^3} \operatorname{tang} i,$$

wo $i$ die Neigung bezeichnet. Für 800 Millimeter Entfernung ergiebt sich daraus mit dem oben gefundenen Werthe von $a = 464250$ und für $i = 67^0\,42'$ die Ablenkung

$$v = 15'\,12''.$$

Diese kleine Ablenkung würde nicht genügen, um die Variationen genau zu beobachten. Um nun die Ablenkung $v$ zu vergrössern, muss entweder der Abstand $R$ verkleinert, oder, was auf dasselbe hinauskommt, die Eisenstäbe müssen vergrössert werden. In beiden Fällen kann obige Formel zur Berechnung von $v$ nur als eine Annäherung betrachtet werden. Man erhält also nur näherungsweise für 400 Millimeter Entfernung eine Ablenkung von $2^0\,1'\,36''$, für 200 Millimeter Entfernung eine Ablenkung von $16^0\,12'\,48''$. Genügte die Grösse der letzten Ablenkung zur genauen Beobachtung der Variationen, so würde man einigen Vortheil dadurch erreichen können, dass man, nachdem die Eisenstäbe der angeführten Vorschrift gemäss aufgestellt worden wären, durch eine kleine Drehung der Mittelpunkte der Eisenstäbe (bei bleibender vertikaler Lage) um die magnetische Achse der Nadel, das wirkliche Maximum der Ablenkung suchte, wodurch der Fehler, der für so kleine Entfernungen nicht mehr genauen Rechnung einigermaassen korrigirt würde.

Noch wichtiger als die Kenntniss des absoluten Werthes des von der Erde im Eisen geschiedenen Magnetismus wäre es für die Anwendung des letzteren zur mittelbaren Beobachtung der Inklinations-Variationen, wenn sich nachweisen liesse, dass die Variationen des Eisenmagnetismus denen des Erdmagnetismus stets genau proportional wären. Herr Lloyd hat nun in den Proceedings of the Royal Irish Academy 1842 einige Versuche mitgetheilt, wonach dies näherungsweise Statt zu finden scheint; doch müsste dieses Gesetz der Proportionalität noch in grösserer Schärfe gelten, als nach jenen Versuchen verbürgt werden kann, wenn die Anwendung auf die Beobachtung der Inklinations-Variationen vollständig begründet werden sollte. In der That würde dadurch eine bisher häufig angenommene Vorstellung eine Berichtigung erhalten, wonach die Bewegung des Magnetismus auch im weichen

Eisen nicht ohne einen der Reibung vergleichbaren Widerstand geschähe. Ein solcher Widerstand nämlich, wenn er Statt fände, würde die Herstellung einer so vollkommenen Proportionalität, wie zum Zweck jener Anwendung erfordert wird, nicht gestatten.

Es ist nun wohl denkbar, dass gerade in Beziehung auf diesen Widerstand verschiedene Eisensorten sich sehr verschieden verhalten, so wie es auch möglich ist, dass er, ungeachtet er bei grösseren Bewegungen des Magnetismus im Eisen sehr merklich sei, doch so kleine Bewegungen, wie den Inklinations-Variationen entsprechen, nicht ganz unterdrücke. Diese beiden Umstände verdienen um so genauer geprüft zu werden, da das Vorhandensein jenes Widerstandes wenigstens bei manchen Eisensorten nicht abzuleugnen und sein Einfluss auf sehr verschiedene Bewegungen des Magnetismus im Eisen merklich ist, wie die folgenden Versuche zeigen werden.

*Erste Versuchsreihe.* Es wurden parallel mit dem magnetischen Meridian und in der Horizontalebene der Nadel des Magnetometers im hiesigen Observatorium 2 Messstangen gelegt, zu beiden Seiten der Nadel in gleicher Entfernung. Auf diese Stangen wurden zwei 300 Millimeter lange, 17,5 Millimeter breite und 77 Millimeter hohe Eisenstäbe gelegt und längs der Stangen verschoben, bis die von ihnen hervorgebrachte Ablenkung ein Maximum war. In dieser Lage wurde der Stand des Magnetometers beobachtet, darauf die Stäbe, ohne ihren Platz zu verändern, umgelegt und der Stand des Magnetometers wieder beobachtet. Dieser Wechsel wurde mehrmals wiederholt. Zwischen je zwei Beobachtungen verfloss 3 bis 4 Minuten Zeit. Auf diese Weise wurden folgende Resultate erhalten:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | 1108,57 | 6. | 834,24 |
| 2. | 835,12 | 7. | 1101,80 |
| 3. | 1100,23 | 8. | 836,70 |
| 4. | 835,90 | 9. | 1100,08 |
| 5. | 1100,56 | 10. | 833,72 |

Aus diesen Beobachtungen sieht man, dass, bei solchem regelmässigen Wechsel zwischen zwei Lagen, das Eisen, wenn es wieder in dieselbe Lage gebracht wurde, auch wieder denselben Magnetismus annahm. Der mittlere Stand ergiebt sich aus obigen Beobachtungen = 968,3, die halbe Differenz im Mittel = 132,9, der wahre Stand des Magnetometers war endlich für diesen Zeitraum nach einer unmittelbar vorher und nachher gemachten Beobachtung = 846,8. Hieraus ergiebt sich, dass der bleibende Magnetismus 132,9 Skalentheile, der veränderliche 968,3 — 846,8 = 121,5 Skalentheile Ablenkung hervorbrachte. Der Eisenstab erlitt also durch Umlegung eine Aenderung seines Magne-

tismus, die einer Ablenkung von 243 Skalentheilen entsprach. Nach jeder solchen Aenderung stellte sich der Magnetismus fast auf 1 Skalentheil genau wieder her, mit Ausnahme der ersten Beobachtung, wo der Stab vorher nicht umgelegt worden war. Die kleineren Differenzen, die man bei den übrigen Beobachtungen No. 2, 4, 6, 8, 10 oder No. 3, 5, 7, 9 bemerkt, können theils Beobachtungsfehlern theils der Variation der Deklination während der Versuche zugeschrieben werden. Die äussere Kraft, welche den Magnetismus im Eisen bewegte, entsprach der doppelten Kraft des horizontalen Theiles des Erdmagnetismus und kann nach absolutem Maasse = 3,5695 gesetzt werden.

*Zweite Versuchsreihe.* Statt der beiden kurzen Eisenstäbe wurde ein 1216 Millimeter langer, 15,7 Millimeter breiter, 77,6 Millimeter hoher Eisenstab auf eine der Messstangen gelegt und so lange verschoben, bis die Ablenkung ein Maximum war. Darauf wurden 4 Versuche gemacht, indem der Stab eine Zeit lang vertikal (mit dem bezeichneten Ende $A$ entweder nach unten oder nach oben gekehrt) gehalten und darauf genau an seinen früheren Platz zurückgebracht wurde, wobei das bezeichnete Ende $A$ bald nach Norden, bald nach Süden gekehrt wurde. 1. Nachdem $A$ vertikal abwärts gekehrt worden, wurde die Ablenkung der Nadel beobachtet, bei der Richtung von $A$ nach

| | Norden<br>*a* | Süden<br>*b* |
|---|---|---|
| 1. | 817,69 | |
| 2. | | 671,32 |
| 3. | 837,69 | |
| 4. | | 561,69 |
| 5. | 867,82 | |
| 6. | | 521,87 |
| 7. | 869,80 | |

2. Nachdem $A$ vertikal aufwärts gekehrt worden, wurde der Stand der Nadel beobachtet bei der Richtung von $A$ nach

| | Norden<br>*c* | Süden<br>*d* |
|---|---|---|
| 1. | 794,98 | |
| 2. | | 614,57 |
| 3. | 784,80 | |

Es zeigt sich hier selbst bei der Wiederholung derselben Versuche eine Verschiedenheit der Resultate, welche beweist, dass der Eisenstab nicht immer wieder denselben Magnetismus annahm, auch wenn er auf die-

selbe Weise wieder in dieselbe Lage gebracht wurde. Lässt man die ersten am meisten abweichenden Beobachtungen weg und nimmt aus den übrigen für die 4 verschiedenen Fälle folgende Mittelwerthe:

$$a = 868{,}81,\ b = 541{,}78,\ c = 789{,}89,\ d = 614{,}57$$

so würde, unter Voraussetzung vollkommener Beweglichkeit des veränderlichen Magnetismus im Eisen, der bleibende Theil nach den beiden ersten Angaben, der Ablenkung

$$\tfrac{1}{2}(a - b) = \tfrac{1}{2}(868{,}81 - 541{,}78) = 163{,}52$$

nach den beiden letzten Angaben, der Ablenkung

$$\tfrac{1}{2}(c - d) = \tfrac{1}{2}(789{,}89 - 614{,}57) = 87{,}66$$

entsprechen. Nimmt man das Mittel 125,59 als wahren Werth des bleibenden Magnetismus an, so erhält man mit diesem Werthe für den variablen Magnetismus der Reihe nach folgende Bestimmungen:

$$\begin{array}{l} 743{,}22 - d \\ 667{,}37 + d \\ 664{,}30 + d \\ 740{,}16 - d \end{array}$$

Hierbei ist, wenn bei jeder Lage des Eisens eine Spur von dem Magnetismus zurückgeblieben sein sollte, den es zuvor besessen, die ihr entsprechende Ablenkung mit $d$ bezeichnet worden. Man sieht leicht, dass $d$ den Werth

$$d = 37{,}93$$

erhalten müsse, um obige Bestimmungen in Uebereinstimmung zu setzen. Hiernach scheint es also, dass der Magnetismus im horizontal liegenden Stabe durch einen der Reibung ähnlichen Widerstand zurückgehalten und verhindert wurde, die dem vollkommenen Gleichgewicht entsprechende Vertheilung anzunehmen: denn es findet eine merkliche Abweichung stets nach derjenigen Seite Statt, nach welcher der Magnetismus durch die vorausgegangene vertikale Stellung bewegt worden war. Die äussere Kraft, welche den Magnetismus im Eisenstab bei seiner vertikalen Lage bewegt hatte, war der vertikale Theil des Erdmagnetismus $= 4{,}35$ nach absolutem Maasse.

*Dritte Versuchsreihe.* Der zu den vorhergehenden Versuchen gebrauchte Eisenstab blieb unverrückt auf der bezeichneten Stelle der Messstangen liegen. Der abgelenkte Stand der Nadel wurde beobachtet, nachdem ein 4 pfündiger Magnetstab abwechselnd mit seinem Nordpole dem Südende des Eisenstabes genähert worden war. Diese Versuche

wurden in kurzen Zwischenzeiten von 3 bis 4 Minuten gemacht und ergaben folgende Resultate:

| Genäherter Pol | Stand der Magnetnadel | $A$ |
|---|---|---|
| Südpol | 1605,70 | |
| Nordpol | 1624,90 | — 20,80 |
| Südpol | 1602,50 | + 21,575 |
| Nordpol | 1623,25 | — 18,95 |
| Südpol | 1606,10 | + 17,075 |
| Nordpol | 1624,90 | — 18,125 |
| Südpol | 1607,45 | + 17,925 |
| Nordpol | 1625,85 | — 17,625 |
| Südpol | 1609,00 | + 17,20 |
| Nordpol | 1626,55 | — 17,65 |
| Südpol | 1608,80 | + 18,00 |
| Nordpol | 1627,05 | |

Die in der letzten Kolumne unter $A$ bemerkten Werthe geben, den daneben stehenden Ständen zugefügt, das Mittel aus dem vorhergehenden und nachfolgenden Stande der Nadel. Aus dieser Versuchsreihe ergiebt sich, wie man leicht aus dem regelmässigen Zeichenwechsel in der Kolumne $A$ erkennt, ein ähnliches Resultat wie aus der vorigen, nur dass man für $d$ einen kleineren Werth zu setzen hat, nämlich

$$d = 9,29$$

d. i. die Hälfte des Mittels aus den unter $A$ angeführten Werthen. Man erhält dann folgende Reihe, wenn man in obiger Tafel den Werth von $d$ dem Stande der Nadel abwechselnd zufügt oder von ihm abzieht:

| | |
|---|---|
| 1614,99 | 1616,74 |
| 1615,61 | 1616,56 |
| 1611,79 | 1618,29 |
| 1613,96 | 1617,26 |
| 1615,39 | 1618,09 |
| 1615,61 | 1617,76 |

wo die kleinen noch übrig bleibenden Differenzen von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern und hauptsächlich von den Variationen der Deklination während der Versuche herrühren können. Der bleibende Magnetismus des Stabes entsprach einer Ablenkung von 125,59 Skalentheilen, der veränderliche einer Ablenkung von 703,76 Skalentheilen. Die äussere Kraft, durch welche der Magnetismus im Eisen vor jeder Beobachtung bewegt worden war, betrug nach einer ungefähren Schätzung etwa $^3/_5$ der absoluten Einheit.

*Vierte Versuchsreihe.* Eine ähnliche Versuchsreihe wurde mit einem etwas kleineren Eisenstabe gemacht, der 917 Millimeter lang, 18,2 Millimeter breit und 76,4 Millimeter hoch war. Derselbe 4pfündige Magnetstab, welcher früher gebraucht war, wurde vor jeder Beobachtung abwechselnd mit seinem Nordpol und Südpol dem Südende des Eisenstabes auf 1118 Millimeter genähert.

| Genäherter Pol | Stand der Magnetnadel | *A* | *B* |
|---|---|---|---|
| Nordpol | 114,35 | | 107,77 |
| Südpol | 91,60 | + 18,30 | 98,18 |
| Nordpol | 105,45 | — 13,40 | 98,87 |
| Südpol | 92,50 | + 12,15 | 99,08 |
| Nordpol | 103,85 | — 12,425 | 97,27 |
| Südpol | 90,35 | + 13,075 | 96,93 |
| Nordpol | 103,00 | — 13,275 | 96,42 |
| Südpol | 89,10 | + 12,675 | 95,68 |
| Nordpol | 100,55 | — 12,35 | 93,97 |
| Südpol | 87,30 | + 12,275 | 93,88 |
| Nordpol | 98,60 | — 11,725 | 92,02 |
| Südpol | 86,45 | | 93,03 |

Aus dieser Versuchsreihe ergiebt sich wieder ein ähnliches Resultat wie aus der vorigen, nur dass für $d$ ein noch kleinerer Werth zu setzen ist, nämlich:

$$d = 6{,}58.$$

Zieht man diesen Werth von dem Stande der Nadel abwechselnd ab und fügt ihn abwechselnd hinzu, so erhält man die in der letzten Kolumne unter $B$ aufgeführte Reihe, wo die übrig gebliebenen Differenzen einer allmähligen Aenderung der Deklination zu entsprechen scheinen. Wirklich ergab eine kurz zuvor und kurz nachher beobachtete wahre Deklination eine Abnahme von 15,68 Skalentheilen. Der hier gebrauchte Eisenstab besass einen sehr starken bleibenden Magnetismus, welcher einer Ablenkung von 406,35 Skalentheilen entsprach, während sein variabler Magnetismus nur einer Ablenkung von 170,1 Skalentheilen entsprach. Die äussere Kraft, durch welche der Magnetismus im Eisen vor jeder Beobachtung bewegt worden war, betrug nach einer ungefähren Schätzung etwa $^4/_7$ der absoluten Einheit.

*Fünfte Versuchsreihe.* Mit demselben Eisenstabe wurde noch eine Versuchsreihe gemacht, die sich von der vorigen blos dadurch unterschied, dass der 4pfündige Magnetstab 500 Millimeter entfernter, d. i. 1618 Millimeter statt 1118 vom Eisenstab gehalten wurde.

| Genäherter Pol | Stand der Magnetnadel | $A$ | $B$ |
|---|---|---|---|
| Nordpol | 90,25 | | 89,59 |
| Südpol | 88,95 | + 0,875 | 89,61 |
| Nordpol | 89,40 | — 1,475 | 88,74 |
| Südpol | 86,90 | + 1,800 | 87,56 |
| Nordpol | 88,00 | — 1,500 | 87,34 |
| Südpol | 86,10 | + 1,400 | 86,76 |
| Nordpol | 87,00 | — 1,125 | 86,34 |
| Südpol | 85,65 | + 1,225 | 86,31 |
| Nordpol | 86,75 | — 2,050 | 86,09 |
| Südpol | 83,75 | + 1,200 | 84,41 |
| Nordpol | 83,15 | — 0,525 | 82,49 |
| Südpol | 81,50 | | 82,16 |

Auch aus dieser Versuchsreihe ergiebt sich ein ähnliches Resultat, nur dass der Werth von $d$ noch viel kleiner erhalten wird, nämlich:

$$d = 0,66.$$

Zieht man vom Stande der Magnetnadel diesen Werth abwechselnd ab und fügt ihn abwechselnd hinzu, so erhält man die in der letzten Kolumne unter $B$ aufgeführte Reihe, deren Differenzen einer allmähligen Aenderung der Deklination zugeschrieben werden können. Die äussere Kraft, durch welche vor jeder Beobachtung der Magnetismus im Eisen bewegt worden war, betrug etwa $^1/_5$ der absoluten Einheit.

Das Resultat, welches sich aus allen diesen Versuchen ergiebt, scheint zu sein, dass der Magnetismus im Eisen sehr selten oder nie in denjenigen Zustand komme, welcher unter den wirkenden äusseren Kräften dem vollkommenen Gleichgewicht entspricht, sondern durch einen der Reibung vergleichbaren Widerstand etwas auf derjenigen Seite zurückgehalten werde, nach welcher er vorher bewegt worden war. Doch scheint dieser Einfluss in sehr verschiedenem Maasse Statt zu finden, je nachdem der Magnetismus im Eisen vorher mehr oder weniger bewegt worden war, so dass man vermuthen kann, dass nach so kleinen Bewegungen, wie den *Variationen* des vertikalen Theils des Erdmagnetismus entsprechen, jener Einfluss ganz unmerklich sei. Hierauf beruht die Hoffnung, dass das von Herrn Lloyd angegebene Instrument seinem Zwecke genüge, so wie umgekehrt der Erfolg der damit gemachten Beobachtungen hierauf zurückzuschliessen gestatten wird. Sollte sich auf diese Weise auch ergeben, dass die Variationen des Eisenmagnetismus denen des Erdmagnetismus entsprächen, so darf doch nicht erwartet werden, dass die Variationen des Eisenmagnetismus zum ganzen Eisenmagnetismus (abgesehen von dem konstanten Theile desselben) sich

verhalten wie die Variationen des Erdmagnetismus zum ganzen Erdmagnetismus, was voraussetzen würde, dass jener der Reibung ähnliche Widerstand im Eisen gar nicht vorhanden wäre. Es erscheint daher zweifelhaft, ob bei dem unleugbaren Vorhandensein dieses Widerstandes die Variationen des Eisenmagnetismus wirklich einen *sicheren Maassstab* für die Variationen des Erdmagnetismus geben können.

Herr Professor Lloyd hat bei der Beschreibung seines Induktions-Inklinometers in der oben angeführten Schrift: Account of the magnetical Observatory of Dublin pag. 44 das Induktions-Inklinatorium erwähnt, welches im zweiten Bande der *Resultate* S. 81[1]) beschrieben worden ist, weil dasselbe auf einem ähnlichen Principe beruht; denn auch hier wird der vertikale Theil des Erdmagnetismus, wie bei Herrn Lloyd's Instrumente *mittelbar* gemessen; die Vermittelung geschieht aber nicht durch einen Eisenstab, welchen der vertikale Erdmagnetismus magnetisch macht, sondern durch einen Kupferring, in welchem der vertikale Erdmagnetismus einen galvanischen Strom inducirt: der Kupferring wird dabei mit einer gleichförmigen messbaren Geschwindigkeit um eine horizontale Axe gedreht. Diese Einrichtung gewährt zwar den Vortheil einer vollkommenen Proportionalität der inducirten galvanischen Ströme mit dem inducirenden Erdmagnetismus, hat aber den Nachtheil, einen kostbaren und sehr zusammengesetzten Apparat zur gleichmässigen Drehung des Kupferringes zu erfordern, wenn feine Beobachtungen damit ausgeführt werden sollten. Diese Drehung muss nämlich dann durch eine Uhr genau regulirt werden und die Leistungen des Instrumentes hängen ganz von dem guten Gange der Uhr ab. Man ersieht daraus leicht, dass das Instrument hierdurch kostbar wird und dadurch weniger zum allgemeinen Gebrauch geeignet; jedoch hat Herr Staatsrath Kupffer ein solches Instrument für das magnetische Observatorium in St. Petersburg ausführen lassen, wovon künftig weitere Nachricht gegeben werden wird, und Herr Professor Hansen in Gotha hat dazu eine sinnreiche Methode angegeben, wie die Uhr mit dem Triebwerk zu verbinden sei, um einen regelmässigen Gang des letzteren herzustellen. Das allgemeinere Interesse, welches diese Methode gewährt, weil sie eine Anwendung auch auf andere Zwecke gestattet, liess es wünschenswerth erscheinen, dieselbe im folgenden Aufsatze mitzutheilen.

*W.*

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 75.]

XXI.

# Erläuterungen zu den Terminszeichnungen und den Beobachtungszahlen.

[Im Auszuge.]

[Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, 1841, XI, S. 112—133.]

---

Es möge zunächst bemerkt werden, dass die festgesetzten vier jährlichen Termine (siehe den dritten Band der *Resultate* S. 135, 136),[1] welche für die Jahre 1841 und 1842 im vierten Bande der *Resultate* S. 121[2]) näher bezeichnet worden sind, auch künftig fortbestehen werden. Für die Jahre 1843, 1844 und 1845 enthält die folgende Tafel die näheren Bestimmungen.

| | Februar | Mai | August | November |
|---|---|---|---|---|
| 1843. Anfang Abends 10 Uhr | 24 | 26 | 25 | 24 |
| Ende „ 10 „ | 25 | 27 | 26 | 25 |
| 1844. Anfang Abends 10 Uhr | 23 | 24 | 30 | 29 |
| Ende „ 10 „ | 24 | 25 | 31 | 30 |
| 1845. Anfang Abends 10 Uhr | 21 | 30 | 29 | 28 |
| Ende „ 10 „ | 22 | 31 | 30 | 29 |

Es werden in den bezeichneten Jahren dieselben Termine auch in allen von dem Englischen Gouvernement und von der Ostindischen Kompagnie errichteten Observatorien, eben so wie in den Jahren 1840, 1841, 1842 gehalten werden, da auf Antrag der Königlichen Societät der Wissenschaften zu London die Fortdauer dieser Observatorien auf eine neue Periode von 3 Jahren genehmigt worden ist. Man findet hierüber ausführlichere Nachrichten in den *Reports on the State of Science* 1842 unter dem Artikel: Report of the Committee, consisting of Sir J. Herschel, the *Master of Trinity*, the *Dean of Ely*, Dr. Lloyd and Colonel

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 146, 147.]

[2]) [Ebendaselbst, p. 183.]

Sabine, appointed to conduct the Cooperation of the British Association in the system of Simultaneous Magnetical and Meteorological Observations.

Auch in allen vom Russischen Gouvernement gegründeten Observatorien werden die Beobachtungen eben so wie bisher fortgesetzt werden.

Die in den Tafeln — — zusammen gestellten Zahlen enthalten 112 Beobachtungsreihen für die Variationen der Deklination und 81 Reihen für die Variationen der horizontalen Intensität, von 33 verschiedenen Beobachtungsorten, unter denen 25 sind, wo die Variationen der Deklination und der Intensität zugleich beobachtet wurden.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Da Seite 224 erwähnt worden ist, dass bei allen bisher in Göttingen gemachten Beobachtungen, sowohl in den Terminen als auch bei ausserordentlichen Gelegenheiten, noch nie das Bedürfniss einer kürzeren Schwingungsdauer als 20 Sekunden, wie die Nadel im hiesigen Observatorium besitzt, eingetreten sei, so mögen zum vollständigeren Beleg hiervon, ausser dem S. 227 gegebenen Beispiel der grössten Deklinationsschwankung während des Nordlichtes am 18. Februar 1837, die Beobachtungen während dieses und einiger anderen Nordlichter hier vollständig mitgetheilt werden. Die aus diesen Beobachtungen sich ergebende Darstellung von dem Verlauf dieser merkwürdigen Erscheinungen lässt (in so weit keine Unterbrechungen der Beobachtungen eingetreten sind) nichts zu wünschen übrig. Jedenfalls ist es aber wünschenswerth, dass alle Beobachter bei solchen Gelegenheiten künftig *ununterbrochen* in den der Schwingungsdauer ihrer Nadel gleichen Zeitintervallen beobachten, wobei weniger Gewicht darauf zu legen sein dürfte, ob diese Schwingungsdauer einige Sekunden grösser oder kleiner ist, als vielmehr darauf, dass die Schwingungsdauer möglichst nahe ein aliquoter Theil von einer Minute ist, was sehr zur Bequemlichkeit des Beobachters gereicht.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

*W.*

XXII.

# Bemerkungen über die Wirkungen eines Magnetes in die Ferne.

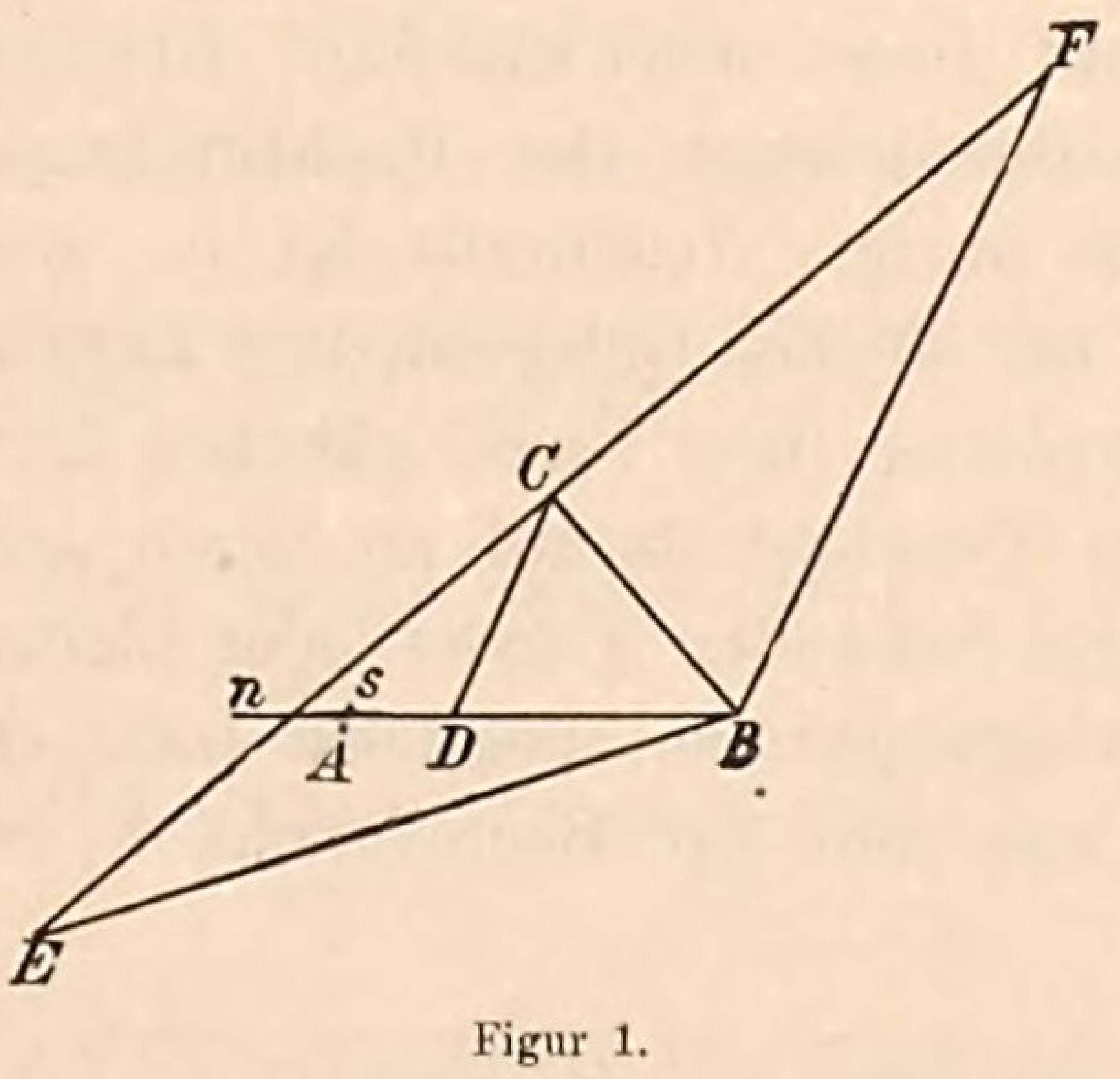
Von

**Wilhelm Weber.**

[Annalen der Physik und Chemie 1842, Bd. 55, p. 33—42.]

---

Es ist oben[1]) auf einen Satz über die Wirkung eines Magnetes in die Ferne verwiesen worden, welchen Gauss in den „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins" bewiesen und durch eine einfache geometrische Konstruktion erläutert hat. Diese geometrische Konstruktion ist folgende. $A$ (in Fig. 1) sei der Magnet, $AB$ sei die Richtung der magnetischen Axe, die Linie $AC = R$ verbinde einen entfernten Punkt $C$, wo die Wirkung des Magnetes betrachtet werden soll, mit der Mitte des Magnetes; man errichte in $C$ ein Perpendikel auf $AC$, welches in $B$ die Richtung der magnetischen Axe schneidet; man nehme in $AB$ den Punkt $D$ so, dass $AD = {}^1/_3\, AB$ sei, und ziehe $CD$:




Figur 1.

so ist $CD$ oder $DC$ die Richtung der magnetischen Kraft in $C$, je nachdem das magnetische Element in $C$ von entgegengesetzter oder von gleicher Art, wie der freie Magnetismus im Magnet $A$ auf der Seite des spitzen Winkels $BAC$ ist. Die Grösse der Kraft ist

$$= \frac{CD}{AD} \cdot \frac{M}{AC^3}.$$

Zum Beweise dieses oft in Anwendung kommenden Satzes mögen hier folgende Bemerkungen dienen. Man denke sich im Punkte $n$ den

---

[1]) [Annalen der Physik und Chemie 1842, Bd. 55, p. 30. Wilhelm Weber's Werke, Bd. III, Messung starker galvanischer Ströme nach absolutem Maasse.]

Nordmagnetismus, in $s$ den Südmagnetismus des Magnetes $A$; die Linie $ns$ sei gegen $AC$ unendlich klein und werde vom Punkte $A$ halbirt; im Punkte $C$ denke man sich die Einheit nordmagnetischen Fluidums; $\pm m$ bezeichne die Menge des Nord- oder Südmagnetismus in den Punkten $n$ und $s$; $a = ns$ sei ihre Scheidungsweite; das magnetische Moment $M$ ist dann:

$$M = am. \tag{1}$$

Wird nun die Kraft, welche auf $C$ wirkt, nach $CA$ und $CB$, welche einen rechten Winkel einschliessen, zerlegt, so ist für die Einheit des Nordmagnetismus in $C$:

*Erstens* die Komponenten $X$ nach $CA$:

$$X = -\frac{m}{Cn^2}\cos ACn + \frac{m}{Cs^2}\cos ACs.$$

Da $nA = As$ gegen $AC$ verschwindet, so ist:

$$\cos ACn = \cos ACs = 1$$

und da $ns = a$ und $ACB$ ein rechter Winkel ist, so ist:

$$Cn = AC + \frac{AC}{AB}\cdot\frac{a}{2}, \quad Cs = AC - \frac{AC}{AB}\cdot\frac{a}{2}$$

Substituirt man diese Werthe und vernachlässigt die höheren Potenzen von $\frac{a}{AB}$ so erhält man:

$$X = \frac{2am}{AB\cdot AC^2}.$$

*Zweitens* die Komponenten $Y$ nach $AB$ findet man:

$$Y = \frac{m}{Cn^2}\sin ACn + \frac{m}{Cs^2}\sin ACs,$$

worin $\sin ACn = \sin ACs = \frac{1}{2}\frac{CB}{AB}\cdot\frac{a}{AC}$ und $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{Cn^2}+\frac{1}{Cs^2}\right) = \frac{1}{AC^2}$ gesetzt werden kann; folglich:

$$Y = \frac{CB}{AB}\cdot\frac{am}{AC^3}.$$

Die Kraft, welche auf $C$ wirkt, ergiebt sich hieraus:

$$\sqrt{X^2+Y^2} = \frac{am}{AB\cdot AC^3}\sqrt{4AC^2+BC^2},$$

verlängert man $CA$ bis $E$, so dass $CA = AE$, so erhält man:

$$BE = \sqrt{4AC^2+BC^2}.$$

Zieht man $BF$ parallel mit $DC$ bis sie in $F$ die verlängerte $AC$ schneidet, so ist $AC:CF = AD:DB = 1:2$, folglich $CF = 2AC = CE$,

woraus die Kongruenz der rechtwinkligen Dreiecke $BCE$ und $BCF$ geschlossen wird, oder

$$BE = BF = 3CD,$$

fügt man $AB = 3AD$ und $am = M$ hinzu und substituirt diese Werthe, so erhält man die Kraft, welche auf $C$ wirkt

$$\sqrt{X^2 + Y^2} = \frac{CD}{AD} \cdot \frac{M}{AC^3},$$

was zu beweisen war.

Was die Richtung dieser Kraft betrifft, so macht dieselbe mit der Richtung $CA$ der Komponente $X$ einen Winkel, dessen Tangente $= Y/X = BC/2AC = BC/CF$ ist. Da $BCF$ ein rechter Winkel ist, so ist $BC/CF = \operatorname{tang} BFC = \operatorname{tang} DCA = Y/X$, woraus folgt, dass $CD$ die Richtung der Kraft ist.

Dass endlich die Grösse dieser Kraft dieselbe bleibt, ihre Richtung aber die entgegengesetzte $DC$ werde, wenn entweder in $C$ Südmagnetismus statt Nordmagnetismus gesetzt wird, oder die Pole $ns$ des Magnetes $A$ verwechselt werden, leuchtet von selbst ein.

Die vielseitige Anwendbarkeit des bewiesenen Satzes möge hier noch durch einige Beispiele erläutert werden.

Zwei Magnetnadeln, die eine im magnetischen Meridian, die andere senkrecht gegen den magnetischen Meridian, sollen in einem Lokal so aufgestellt werden, dass die letztere das Azimuth der ersteren nicht ändere. Die erstere Nadel sei in $C$ und ihre Axe nach $D$ gerichtet, $CD$ sei der magnetische Meridian; die andere Nadel sei in $A$ und ihre Axe nach $AB$ gerichtet: $ADC$ soll ein rechter Winkel sein, woraus folgt:

$$AD : CD = CD : BD, \text{ und da } BD = 2AD$$

$$\frac{AD}{CD} = \operatorname{tang} ACD = \sqrt{\frac{1}{2}},$$

d. i. die Verbindungslinie $AC$ der beiden Nadeln soll mit dem magnetischen Meridian einen Winkel machen, dessen Tangente $= \sqrt{1/2}$, d. h. einen Winkel von $35^\circ 16'$. Der wechselseitige Einfluss beider Nadeln besteht alsdann in einer kleinen Aenderung der Direktionskräfte, welche für beide $= Mm\sqrt{2}/AC^3$ ist, wo $M$ das magnetische Moment der Nadel $A$, $m$ das magnetische Moment der Nadel $C$ bezeichnet. Hiernach lässt sich leicht die Entfernung $AC$ bestimmen, für welche diese Korrektion entweder unmerklich oder wenigstens so klein ist, dass sie als konstant betrachtet werden darf und blos bei der Bestimmung des Werthes der Skalentheile für beide Nadeln berücksichtigt zu werden braucht. Ausserdem übt zwar die Nadel $C$ auf $A$ noch ein Drehungsmoment $= Mm/AC^3$,

jedoch braucht dieses nicht weiter berücksichtigt zu werden, weil es durch die Suspension der Nadel $A$ aufgehoben wird. Diese Anwendung ist von Wichtigkeit bei der Aufstellung zweier Instrumente, die zur gleichzeitigen Beobachtung der Deklination und horizontalen Intensität dienen sollen.

Ein anderes Beispiel von der Anwendbarkeit des bewiesenen Satzes bieten die bei den absoluten Intensitätsmessungen zu beobachtenden Regeln dar, welche sich daraus zum Theil sehr einfach ergeben. Es ergeben sich nämlich daraus unmittelbar folgende Sätze:

1. Damit ein Magnet in $A$, dessen Axe die Richtung $AB$ hat, auf einen Magnet in $C$ das grösste Drehungsmoment ausübe, muss die Axe des letzteren in der Ebene $ABC$ liegen und gegen die Richtung der Resultante $CD$ senkrecht sein: das Drehungsmoment ist alsdann $=\frac{CD}{AD}\cdot\frac{Mm}{AC^3}$, wo $m$ das Moment des Magnetes in $C$ bezeichnet. Macht die Axe des Magnetes in $C$ mit $CD$ den Winkel $\varphi$, so ist das Drehungsmoment

$$=\frac{CD}{AD}\cdot\frac{Mm}{AC^3}\cdot\sin\varphi.$$

2. Entfernt man den zweiten Magnet vom ersteren parallel mit sich selbst in der Richtung $AC$, so bleibt $\varphi$ und das Verhältniss $CD/AD$ unverändert, und die Drehungsmomente verhalten sich dann umgekehrt, wie die Kuben der Entfernungen.

3. Das Verhältniss $CD/AD$ ist ein Maximum, wenn der Winkel $BAC$ entweder $=0$ oder $=180^0$ ist: alsdann ist $CD/AD=2$. Ist der Winkel $BAC$ entweder $=90^0$ oder $270^0$, so ist $CD/AD=1$ ein Minimum. Aus einer gegebenen Entfernung $AC$ übt also ein Magnet $A$ auf einen anderen Magnet $C$ das grösste Drehungsmoment aus, wenn $C$ in der Richtung der magnetischen Axe von $A$ liegt, und die magnetische Axe von $C$ senkrecht gegen diese Richtung ist.

4. Wenn $C$ eine Magnetnadel ist, deren Axe den Winkel $v$ mit dem magnetischen Meridian macht, ferner wenn $AC=R$ senkrecht gegen den magnetischen Meridian ist und die Axe des Magnetes $A$ in der Richtung $AC$ liegt, so übt $A$ auf $C$ das Drehungsmoment $2Mm\cos v/R^3$, während der Erdmagnetismus $T$ das Drehungsmoment $Tm\sin v$ auf $C$ ausübt. Zum Gleichgewicht der Nadel wird dann erfordert, dass:

$$\frac{2Mm}{R^3}\cos v = Tm\sin v$$

oder dass:

$$\operatorname{tang} v = \frac{2M}{T}\cdot\frac{1}{R^3}.$$

Wenn also $MT$ nach absolutem Maasse bekannt ist, so können hierdurch $M$ und $T$ einzeln gefunden werden, wenn $v$ und $R$ gemessen

werden. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Dimensionen der Magnete gegen den Abstand $R$ verschwinden. Ist dies nicht der Fall, so ist es nothwendig, auf die allgemeine Theorie zurückzugehen, wie sie Gauss entwickelt hat (s. Ann. Bd. XXVIII S. 241 und S. 591),[1]) wo bewiesen wird, dass *tang* $v$ in einer Reihe nach fallenden Potenzen von $R$ entwickelt werden kann, deren erstes Glied $\frac{2M}{T} \cdot \frac{1}{R^3}$ ist.

5. Wenn $C$ eine Magnetnadel ist, deren Axe den Winkel $v$ mit dem magnetischen Meridian bildet, ferner wenn $AC = R$ im magnetischen Meridian liegt, und die Axe des Magnetes $A$ senkrecht auf dem magnetischen Meridian ist, so übt $A$ auf $C$ das Drehungsmoment $Mm \cos v / R^3$, während der Erdmagnetismus $T$ das Drehungsmoment $Tm \sin v$ auf $C$ ausübt. Zum Gleichgewicht der Nadel $C$ wird dann erfordert, dass:

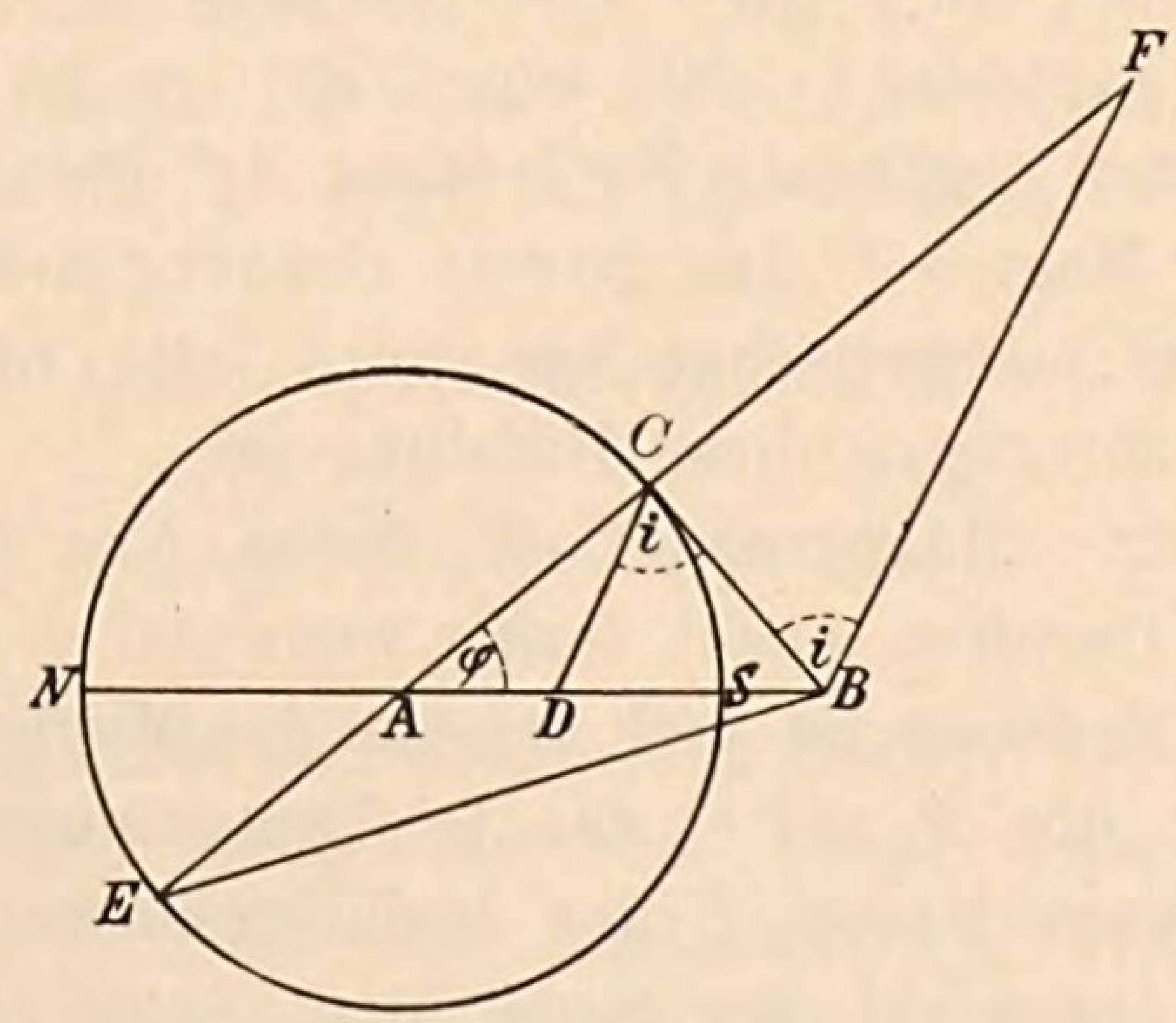
$$\frac{Mm}{R^3} \cos v = Tm \sin v$$

oder dass

$$\operatorname{tang} v = \frac{M}{T} \cdot \frac{1}{R^3}.$$

Hierbei gilt dieselbe Voraussetzung wie vorhin, und auch hier muss auf die allgemeine Theorie verwiesen werden, wenn jene Voraussetzung nicht erfüllt ist.

Diese Bemerkungen mögen genügen zur Erläuterung, wie der oben bewiesene Satz angewendet werden könne, um von den zur absoluten Intensitätsmessung vorgeschriebenen Regeln Rechenschaft zu geben.




Figur 2.

Als letztes Beispiel von der Anwendbarkeit des bewiesenen Satzes möge eine Kugel dienen, in deren Mittelpunkt sich ein kleiner Magnet befindet. In einem Punkte $C$ an der Oberfläche dieser Kugel werde die Deklination, Inklination und ganze Intensität gemessen. Fig. 2 stelle den grössten Kreis der Kugel dar, welcher ausser dem Mittelpunkt $A$

[1]) [Gauss' Werke, Bd. V, p. 108.]

den Punkt $C$ und die Richtung der Deklination $CB$ enthält. Der Winkel $BCD = i$ sei die Inklination und $T$ bezeichne die ganze Intensität im Punkte $C$. Man verlängere $AC$ nach $F$, so, dass $CF = 2AC$, und ziehe $FB$ parallel mit $CD$ (wo $B$ der Durchschnittspunkt der Linien $CB$ und $FB$ ist); endlich ziehe man die Linie $AB$, welche im Punkte $D$ von der Linie $CD$ geschnitten werde; so ist $AB = 3AD$. Hieraus folgert man nach obigem Satze 1. dass die Axe des Magnetes $A$ nach $B$ gerichtet sei, und dass der Winkel $BAC = \varphi$, den diese Axe mit dem Radius $AC = R$ mache, nach der Formel

$$\text{tang}\,\varphi = 2 \cot i$$

berechnet werde; denn es ist

$$\text{tang}\,BAC = \text{tang}\,\varphi = BC/R$$

$$\text{tang}\,BCD = \text{tang}\,CBF = \text{tang}\,i = \frac{2R}{BC}$$

folglich $\text{tang}\,\varphi\ \text{tang}\,i = 2$, woraus die angegebene Formel sich ergiebt; 2. was die ganze Intensität $T$ im Punkte $C$ betrifft, dass

$$T = \frac{CD}{AD} \cdot \frac{M}{AC^3} = \frac{\sin\varphi}{\cos i} \cdot \frac{M}{R^3}$$

oder, wenn $T$ und $i$ gemessen und $R$ gegeben ist, dass

$$M = \frac{1}{2} TR^3 \cos i \sqrt{\text{tang}^2 i + 4}.$$

Hierdurch ist der Magnetismus der Kugel vollständig bestimmt, nämlich 1. durch die Bestimmung, dass aller Magnetismus nahe am Mittelpunkte koncentrirt sei; 2. dass die magnetische Axe in der Ebene $ABC$ liege und mit dem gegebenen Halbmesser $AC$ den Winkel $\varphi$ mache, den Südpol nach $B$ gerichtet, 3. dass das magnetische Moment der Kugel aus bekannten oder gemessenen Grössen, wie oben angegeben ist, berechnet werden könne.

Nachdem der Magnetismus der Kugel auf diese Weise vollständig bestimmt ist, können die Wirkungen desselben in jedem Punkte der Kugeloberfläche mit Hülfe desselben Satzes bestimmt werden. Die Punkte $N$ und $S$, wo $AB$ die Kugeloberfläche schneidet, sind die magnetischen Pole. Legt man einen grössten Kreis durch irgend einen Punkt der Kugeloberfläche und durch die Axe $AB$ oder $NS$, so giebt die Tangente des Kreises in dem betrachteten Punkte die *Deklinationsrichtung;* bezeichnet man den grössten Kreisbogen vom Pole $S$ nach jenem Punkte mit $\varphi$, so findet man in dem letzteren die *Inklination* $i$ durch die Gleichung

$$\text{tang}\,i = 2 \cot\varphi$$

und die *ganze Intensität* $T$ durch die Gleichung

$$T = \frac{\sin\varphi}{\cos i} \cdot \frac{M}{R^3} = \frac{M}{R^3} \sin\varphi \sqrt{1 + 4\cot^2\varphi}.$$

Der Werth der ganzen Intensität ergiebt sich hieraus für die magnetischen Pole $= 2M/R^3$, für alle Punkte des Aequators $= M/R^3$. Nennt man $\varphi$ die Polhöhe, so ergiebt sich die *horizontale Intensität* $T \cos i$ dem Sinus der Polhöhe proportional $= M \sin \varphi / R^3$. Konstruirt man ein System von Parallelkreisen, deren Ebenen auf die magnetische Axe $NS$ senkrecht sind und dieselbe in unendlich kleine gleiche Theile theilen, so sind diese Kreise nach der von GAUSS eingeführten Benennung Linien gleicher *Potentialwerthe*, welche von Linie zu Linie um gleich viel wachsen oder abnehmen, was man daraus erkennt, 1. dass diese Linien die magnetischen Meridiane überall senkrecht schneiden, 2. dass die Abstände dieser Linien überall der horizontalen Intensität umgekehrt proportional sind.

Nähme man an, die Erde sei eine Kugel, deren Magnetismus im Mittelpunkte koncentrirt wäre, so würden die magnetischen Beobachtungen an *einem Orte*, z. B. die in Göttingen beobachtete Deklination, Inklination und ganze Intensität:

$$\delta = 18^0 38', \quad i = 67^0 56', \quad T = 4{,}7414$$

genügen, um den Erdmagnetismus vollständig zu bestimmen und alle seine Wirkungen zu berechnen. Die Lage der magnetischen Axe und das magnetische Moment der Erde würden sich nach obigen Angaben folgendermassen ergeben:

Der magnetische Südpol der Erde sollte in der Richtung des Göttinger magnetischen Meridians $39^0 2'$ nördlich von Göttingen liegen, d. i. in $78^0 21'$ nördlicher Breite und $274^0 32'$ östlicher Länge von Göttingen (nach GAUSS' Theorie liegt er in $73^0 35'$ nördlicher Breite und $254^0 25'$ östlicher Länge von Göttingen); der magnetische Südpol der Erde sollte diametral gegenüber liegen (nach GAUSS' Theorie liegt er nicht diametral gegenüber, sondern in $72^0 35'$ südlicher Breite und $142^0 34'$ östlicher Länge von Göttingen); das magnetische Moment der Erde nach absolutem Maasse sollte 729870 Quadrillionen betragen (nach der GAUSS'schen Theorie 853800 Quadrillionen).

Es ist kaum nöthig zu bemerken, dass solche Bestimmungen des Erdmagnetismus, aus den Beobachtungen *verschiedener Orte* abgeleitet, einander widersprechen würden, woraus die Nothwendigkeit der allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus, wie GAUSS sie gegeben, von selbst einleuchtet.

Es ist in der That nicht gestattet, allen Magnetismus der Erde sich in einem Punkte koncentrirt zu denken, viel weniger diesen Punkt in der Mitte der Erde anzunehmen. Es reichen also die an *einem Orte* beobachteten magnetischen Elemente als erfahrungsmässige Grundlage zur Berechnung des Erdmagnetismus nicht aus. Wollte man nun statt

der beobachteten magnetischen Elemente eines Ortes, die von *zwei Orten* der Berechnung des Erdmagnetismus zum Grunde legen, so würde über den Punkt, wo der koncentrirte Magnetismus zu denken sei, keine willkürliche Annahme gemacht zu werden brauchen, wie die war, dass dieser Punkt der Mittelpunkt der Erde sei, sondern die Rechnung selbst würde die Lage dieses Punktes genau ergeben. Wollte man die an *vier Orten* beobachteten magnetischen Elemente der Rechnung zum Grunde legen, so würde die Lage und Beschaffenheit zweier Magnete im Innern der Erde vollständig bestimmt werden können u. s. w. Nach dem Ergebniss der von Gauss gemachten Anwendung der allgemeinen Theorie müssen wenigstens die an *acht Orten* beobachteten magnetischen Elemente zum Grunde gelegt werden, um durch die Theorie die Wirkungen an der Erdoberfläche genügend darzustellen, aus denen also vier Magnete im Innern der Erde ihrer Lage und Beschaffenheit nach vollständig bestimmt werden können, welches als die geringste Zahl von Magneten im Innern der Erde anzusehen ist, aus deren Zusammenwirken die Wirkungen an der Oberfläche erklärt werden können.

Diese Erläuterungen der Anwendbarkeit des oben bewiesenen Satzes mögen genügen. Man sieht, dass sich daraus vollständig die Regeln entwickeln lassen, wie mehrere magnetische Instrumente in einem Lokal am zweckmässigsten aufgestellt werden, und welche Korrektionen anzubringen sind, um den gegenseitigen Einfluss zu eliminiren. Man sieht, wie man sich darnach von mehreren für die absoluten Messungen vorgeschriebenen Regeln Rechenschaft geben könne. Man kann sich endlich dadurch eine Uebersicht von den wesentlichsten Punkten verschaffen, welche bei der Theorie des Erdmagnetismus in Betracht zu ziehen sind, und welche Schlüsse möglich sind von Beobachtungen an einzelnen Punkten der Erdoberfläche auf den magnetischen Zustand der ganzen Erde. Der Nutzen, welchen man daraus ziehen kann, sowohl zur Vorbereitung magnetischer Beobachtungen, als auch zur Vorbereitung auf das Studium der allgemeinen Theorie, leuchtet daraus von selbst ein.

AD

# LECTIONEM ADITIALEM PUBLICAM

IN

## AULA ACADEMICA LIPSIENSI

**DIE XXIX. MENSIS MAII, HORA XI. MDCCCXLIII.**

HABENDAM,

## SCHOLAS SUAS APERTURUS,

OBSERVANTISSIME INVITAT

**GUILIELMUS WEBER,**
PROFESSOR PHYSICES ORDINARIUS DESIGNATUS.

---

**AGITUR DE NATURA CHALYBIS MAGNETICA.**

---

**LIPSIAE**
TYPIS EXCUDIT FRIDERICUS NIES.

## XXIII.

[De natura chalybis magnetica.]

Fechner, collega conjunctissimus, cujus morbum et propter amicitiam, qua juncti sumus, et propter jacturam maxime dolemus, quam literae physicae, quas egregiarum disquisitionum copiâ auxit et ornavit, inde capiunt, Professoris Physices munus aditurus, anno MDCCCXXXV dissertationem edidit, qua methodum novam et experimenta ex eâ instituta proposuit de vi magnetica, quae in ferro ductili excitatur, quum actionem galvanicam subeat. Quatuor annis post exhibuit aliam dissertationem ut alteram illius partem spectandam, qua experimenta de chalybe duro eodem modo, quo illa de ferro ductili, instituta continentur. Ego autem, quum de eadem re experimenta nonnulla instituerim, viam plane diversam sequutus, non inoportunum habui, quae invenerim, hac dissertatione, Professoris munus adeundi causa scriptâ, cum lectoribus communicare. Hoc enim est praecipuum in nostra investigandi ratione, quod experimenta diversis modis instituta mutuo confirmantur.

Disquisitiones magneticae duplicis sunt generis: alterum in origine, alterum in vi et effectu virium magneticarum versatur. Vim et effectum virium magneticarum experimentis prius perscrutari convenit, quam originem, quare non mireris, quanquam de vi et effectu virium magneticarum multa investigata sint, tamen de earum origine multa adhuc nos latere. Eadem ratio est in aliis physices doctrinis, exempli gratia in theoria electricitatis et luminis. Nam novimus quidem leges, quas vis electrica sequitur in movendis corporibus, sed lex, qua ipsa nascitur, si diversa corpora conteruntur, nos omnino latet. Item leges quidem compertas habemus, quas undae aethereae, quae lumen efficiunt, corpora transeuntes sequuntur, quae autem sint leges oscillationum eorum corporum, quibus illae ipsae undae excitentur, nescimus. Ita etiam leges illustratae sunt, secundum quas vim et effectum certi cujusdam magnetis in toto spatio eruere possis; leges autem, secundum quas fluida magnetica in corpore moveantur, h. e. leges secundum quas magnetes nascantur, parum sunt indagatae, quanquam maximi momenti esse videantur. Non acquiescendum est in observandis iis corporibus, quorum status magneticus

fixus et constans manet, sed ea etiam observanda sunt, quorum status magneticus aliqua actione externa mutatur. Hoc est, quod Fechner feliciter investigavit, de quo pauci ante ipsum vix cogitarant. Quanti haec disquisitio a celeberrimo Fechner instituta facienda sit, inde sponte elucet.

Fechner in priore dissertatione supra laudata experimenta his finibus circumscripsit, ut de solo ferro ductili ageret, cujus vires magneticae actione galvanica mutarentur. Quo quidem consilio oscillationes acus e ferro ductili factae, filo serico tenuissimo suspensae et a multiplicatore galvanico, vim ferri magneticam excitante, circumdatae, observavit. Haec observandi ratio, quae *tempore* accurate metiendo nititur, *oscillationum* dicitur methodus. Alia methodus, metiendis *angulis* nixa, infra explicabitur.

In posteriore dissertatione supra laudata Fechner chalybem durum exploravit, dum galvanica actione vis magnetica in eo excitaretur, eademque observandi methodo, qua in ferro, usus est. Chalybs durus, quem exploravit, non solum vi magnetica non caruit, sed maxima, quam tenere potuit, vi gavisus est. Actio galvanica hoc modo ad chalybem adhibita est, ut magnam illam chalybis vim adeo augere niteretur et vere augeret. Hoc enim observationes a celeberrimo Fechner institutae primum docuerunt, cum chalybe duro, vi magnetica maxima, quam ultro tenere possit, pollente, majorem adeo vim magneticam tamdiu communicari, quamdiu influxum galvanicum idoneum subeat. Virium magneticarum incrementum, galvanicâ actione remotâ, retineri non posse, non est, quod multis demonstrem et illustrem. Quare hoc virium magneticarum incrementum nomine *variabilis* a Fechner recte appellatum et a vi magnetica chalybis sibi *constante* discretum est. Illam vim magneticam chalybis variabilem ad actionem galvanicam, qua movetur, quam proxime eandem semper rationem tenere, observationum copiâ Fechner demonstrare studuit.

Brevi igitur nunc exposuimus ea, quae celeberrimi Fechner experimenta docuerunt, quatenus ad consilium nostrum necessaria visa sunt.

In aprico est, nemoque mirabitur, acum tanta vi magnetica praeditam, quantam pro vi sua coërcitiva tenere possit, si nihilo secius per actionem galvanicam vi magneticâ augeatur, id augmentum perdere, actione illâ galvanicâ sublatâ. Si enim vim magneticam majorem in universum tenere non potest, hanc etiam galvanicâ actione effectam retinere non potest. Aliter vero res se habet, si vis magnetica acus actione galvanicâ oppositâ imminuitur. Tum enim nulla est ratio, qua exspectaveris, acum, vi galvanicâ sublatâ, pristinam vim recuperaturam esse. Imo frustra vim aliquam quaeres, qua acus magneticae momentum amissum restitui possit; praeterea vero restitutioni tali vis coërcitiva

non posset non resistere. Profecto in acu magnetica virium debilitatarum restitutio ad pristinam intensitatem, nullâ causâ apparente, mirabilior et explicatu difficilior esse videtur, quam virium auctarum relaxatio, etiamsi hae vires ad eum intensitatis gradum evectae non fuissent, quem acus pro vi sua coërcitiva tenere potest. Nihilo tamen secius experimentis probabo, momentum chalybis magneticum, contraria quadam actione galvanica imminutum, hac actione cessante, ad pristinam intensitatem vere redire.

Si fluida magnetica in chalybe separata, posteaque galvanicae actionis vi invicem aliquantum appropinquata, denuo separantur, simulac vis illa externa cessaverit, quaeritur, quae sit illa vis in chalybe, qua fluida magnetica non solum separata tenentur, sed adeo denuo separantur. Vis coërcitiva de chalybe praedicata fluida magnetica separata quidem tenere potest, ad ea autem denuo separanda nil valet. Ergo in chalybe vel incognita quaedam neque perspecta vis latere, vel notio de vi coërcitiva, in chalybe adhibita, non amplius ad omnia experimenta quadrare videtur. Operae igitur pretium fore visum est, de hac mirabili virium perditarum restitutione, quae nulla apparente causa locum habet, paulo uberius disserere. Priusquam vero hac de re subtilius disputemus, experimenta antea describenda sunt.

Quem in finem primum de methodis ad experimenta instituenda idoneis pauca praemittenda sunt. Disquisitiones magneticae ab illustri Gauss institutae docuerunt, aliam esse methodum praeter a celeberrimo Fechner adhibitam, quae nisi sit praeferenda, certe tamen aequo jure in usum vocanda, ac saepissime egregio cum successu cum illâ conjungenda, methodum *declinationum*, quae dicitur, a methodo oscillationum, a Fechner adhibitâ, maxime diversa, quia non *tempore*, sed *angulis* metiendis nititur. Secundum hanc methodum neque ferrum neque chalybs, actioni galvanicae submissus, sed acus magnetometri Gaussiani, a ferro vel chalybe satis remota, vi ferri vel chalybis magneticâ a meridiano magnetico abacta, observatur.

Methodus declinationum, quam sequutus sum, jam alias ita illustrata invenitur, ut hoc loco nihil necesse sit de eâ afferre. Sufficiat igitur dubia quaedam dispellere, quae de hac methodo, ad hunc finem nostrum adhibenda, moveri possint.

Nam primum dubitari quidem posset, an virium magneticarum chalybis augmentum, vi galvanica effectum, tantum sit, ut acus deviatio inde orta in magnetometro *remoto* accurate observari possit. Ne de ferro quidem constat, quae sint momenta magnetica actione externâ, vel magneticâ, vel galvanicâ, oriunda; pondera enim ferro electromagnetico suspensa hac de re fere nihil docent, quia momenta magnetica viribus proxime agentibus metiri non licet. Porro dubitari posset, an

deviatio acus, ipsâ vi galvanicâ effecta, ita sit exigua, ut mensuras accuratiores non turbet nullaque ejus ratio habenda sit.

Quae quidem dubia experimentis nostris plane dissipata et remota sunt. Hoc enim probatum est, tantum esse effectum actionis galvanicae ad momenta corporum magnetica mutanda, ut acus magnetometri remoti etiam tum notabiliter a meridiano abigatur, quum actio galvanica per se spectata deviationem vix sensibilem efficiat. De ratione, quae est inter actionem galvanicam et momentum ferri vel chalybis magneticum, ad mensuras absolutas revocata, alio loco plenius dicam.

Experimenta ita institui, ut cylindrum magneticum e chalybe duro spiris cupreis circumdarem, apparatumque galvanicum ex methodo celeberrimi Grove paratum adhiberem. Cylindrum apparatumque galvanicum, 1891 Millimetra a magnetometro remota, versus Orientem ita collocavi, ut axis magneticus cylindri prolongatus acum magnetometricam bisecaret. Quo facto, deflexam a meridiano magnetico acum modo solito observavi. Qua deviatione cognita, etiamsi momentum chalybis spirarumque circumdantium magneticum mensurâ absolutâ definiri nequeat, quia plurium diversarumque observationum combinatio requiritur, tamen momenta magnetica diversa inter se comparari possunt. Quem in finem, inversâ seu commutatâ actione galvanicâ, acum aliter deflexam iterum, atque postea, actione galvanicâ denuo inversâ, tertium observavi. Quartum denique, actione galvanicâ plane sublatâ, acum a sola vi chalybis magnetica deflexam observavi. Observata numeris expressa haec sunt: si actio galvanica erat

| | |
|---|---|
| directa, | = 9,29 |
| inversa, | = 66,38 |
| bis inversa, | = 11,87 |
| plane intercepta | = 37,25. |

Tres primae declinationes non a chalybe solo, sed simul a spirarum vi galvanica repetendae sunt: facili vero negotio pars declinationis a spiris oriunda, chalybe remoto, discreta et sex partibus scalae aequalis inventa est, quae si vel adduntur vel subtrahuntur, ad momenta chalybis magnetica inter se comparanda hi efficiuntur numeri:

15,29
60,38
17,87
37,25.

Momentum primum et tertium, inter se non admodum diversa, maxime differunt ab altero; momentum quartum autem medium fere valorem tenet. Ex hac momentorum magneticorum diversitate primum intelligitur

id, quod etiam Fechner invenerat, statum chalybis magneticum pro actionis galvanicae diversitate maxime differre; deinde, momentum magneticum chalybis actione vel directa, vel inversa aut minui, aut augeri; denique, actione galvanica cessante, chalybi pristinum momentum magneticum fere restitui, sive hoc minuendum, sive augendum sit. Idem dicitur his verbis: Chalybi nostro certa quaedam vis magnetica $= 38,5$ maxime convenit; chalybs autem certa quadam actione galvanica excitatus, decrementum vel incrementum cepit $= \mp 21,9$; denique, hâc actione sublatâ, vis naturalis illa, chalybi maxime conveniens, restituta est simili ratione, qua virgae elasticae conditio naturalis restituitur, simulac pondus, quo compressa vel extensa est, removetur. Chalybi magnetico igitur certum quoddam aequilibrium stabile convenit, quod, quum turbetur, sponte restituatur. Ex regula modo explicita colliguntur hi numeri:

16,6
60,4
16,6
38,5,

qui a mensuris supra laudatis vix differunt.

Postquam phaenomenon observatum exposuimus, nunc, quomodo explicandum sit, dicemus. Explicatio phaenomeni, nisi novam theoriam admittere volueris, e chalybis constitutione intimâ, *non homogeneâ*, repeti potest. Ponamus, chalybem constare partibus tum parvâ, tum magnâ vi coërcitivâ gaudentibus. Quod si ita esset, facile explicaretur, vim chalybis magneticam post remotam actionem galvanicam talem restitui, qualis ante illam fuerat. Nam status magneticus partium magnâ vi coercitivâ praeditarum illa actione plane non mutaretur; partium parvâ vi coërcitivâ instructarum status magneticus mutaretur quidem, sed, vi coërcitivâ non prohibente, simulac actio illa evanuerit, rediret ad eum statum, qui priorum partium in posteriores actioni responderet. Hoc modo omnes chalybis partes, actione galvanicâ cessante, ad pristinum statum redirent, quanquam nonnullarum partium status per aliquod tempus mutatus fuisset, quod erat explicandum.

His igitur, quae explicui, hoc etiam inest, eo tempore, quo actio galvanica locum habeat, statum magneticum partium parvâ vi coërcitivâ praeditarum vere mutari, quum actio galvanica conjungatur cum ceterarum partium actione magnetica sibi constante. Utraque actio, si conspirat, momentum chalybis magneticum augeatur, sin autem sibi invicem contraria est, minuatur, necesse est. Denique ex his omnibus apparet, etiam momentum *totius* chalybis magneticum, praesente actione galvanicâ, semper mutari, quae mutatio si est diminutio, patet, sublatâ hac actione galvanicâ, hanc diminutionem desinere, unde efficiatur, ut

momenti magnetici auctio diminutionem illam, nullâ causâ apparente, sequatur.

Vides igitur, hanc chalybis e diversis partibus compositionem idoneam esse ad phaenomena explicanda, quae observavimus.

Huic explicationi commendationi est, quod hypothesis de chalybis compositione, qua nititur, non nova est, sed jam a celeberrimo Kupffer, alius phaenomeni explicandi causa, proposita. Invenit enim celeberrimus Kupffer speciem chalybis, cujus vis magnetica temperiei actione omnino non mutatur. Hanc virtutem repetiit a partibus ferreis cum chalybe mixtis, minima vi coërcitiva praeditis. His enim partibus ferreis certâ quadam eâdemque actione majorem excitari vim magneticam, statuit, si temperies augeatur. Auctâ igitur totius corporis temperie, partium magna vi coërcitiva praeditarum vis magnetica minuitur quidem, quod jam dudum cognitum habemus, sed ea vis, quanquam minor, tamen in partibus ferreis, etiam temperie elevatis, majorem vim magneticam excitat, unde fit, ut vis magnetica partim minuta, partim aucta, in toto corpore non mutetur. Cel. Kupffer, se chalybem diversâ partium ferrearum copiâ mixtum parasse, magnaque discrimina, si vim et effectum temperiei in mutandis corporis momentis magneticis spectaveris, observasse refert.

Explicatio nostra, a particularum ferrearum interpositione repetita, praeterea, hac etiam ratione firmari potest: Quo major est numerus particularum ferrearum, eo major etiam momenti magnetici mutatio post sublatam actionem galvanicam esse debet, sed nunquam tanta mutatio in chalybe inveniri potest, quanta in ferro ductili puro animadvertitur. Hoc, ab explicatione nostra repetitum, experimentis confirmatur. Etiamsi in diversis chalybis speciebus magna discrimina momentorum magneticorum, eâdem actione galvanicâ oriunda, inveniantur, nunquam tamen majora momenta in chalybe, quam in ferro, effici videmus; imo momentum in chalybe, eâdem actione galvanicâ natum, ter certe vel quater minus inventum est, unde concludendum esse videtur, partes ferreas chalybe mixtas vix tertiam vel quartam chalybis partem efficere.

Longum est, disquirere, quae evenirent, si chalybs non tantum duobus partium generibus vi coërcitivâ maxime diversarum, sed pluribus partium magis minusve diversarum generibus constaret, quod ponere rerum naturae magis adeo consentaneum videtur. Qua hypothesi admissâ at ad ferrum quoque relatâ, momentorum magneticorum variabilitas, nondum satis explorata, facilius et plenius videtur explicari posse, qua de re in posterum subtilius agere studebo.

Denique chemicorum et metallurgicorum auxilium petere decet, qui hanc chalybis compositionem aliunde confirment et accuratius explorent. Multum interesset, lapides magneticos *homogeneos* invenire idoneos ad

experimenta eadem instituenda, quae chalybe magnetico instituta narravimus.

---

Haec praefatus sum, ut nunc transeam ad id, quod mihi dissertationis hujus scribendae causam praebuit. Mihi enim Lipsiam vocato, ut Professoris Physices Ordinarii munus, quo, ante duodecim annos Gottingam vocatus, per sex annos in Academia Georgia Augusta functus eram, in hac Celeberrima Literarum Universitate susciperem, Excellentissimique Fechner simul locum tamdiu explerem, quamdiu Vir Celeberrimus morbo, quem nos omnes maxime lugemus, scholas habere impedietur, hoc officium injunctum est, ut scholas meas Lectione Publica aperirem. Quem in finem in Aula Academica d. XXIX. mens. Maii, hora XI.

De statu terrae universae magnetico, a virorum doctorum numero conjunctim explorando, et de Societate hunc in finem constituta, quae nunc ubique terrarum socios habet,

patrio sermone dicam, atque ad hanc Lectionem Vos, RECTOR ACADEMIAE MAGNIFICE, PROCERES UTRIUSQUE REIPUBLICAE GRAVISSIMI, COMMILITONES HUMANISSIMI, ea, qua decet, reverentia invito.

P. P. in Univ. Lips. Dom. Exaudi MDCCCXLIII.

---

XXIV.

# Das Maass der Wirksamkeit magneto-elektrischer Maschinen.

Von

**Wilhelm Weber.**

[Annalen der Physik und Chemie 1844, Bd. 61, p. 431—447.]

---

Es wird nicht ohne Interesse sein, von den Wirkungen der im vorhergehenden Aufsatze[1]) beschriebenen magneto-elektrischen Maschine einige Maassbestimmungen zu geben, zu dem Zwecke, einer Vergleichung derselben mit anderen Maschinen und anderen Quellen des Galvanismus zum Grunde gelegt zu werden.

Da es sich hierbei um Ströme von bedeutender Stärke handelt, so kann die bisher meist nur zu Messung *magnetischer* Wirkungen gebrauchte, von Gauss angegebene Messungsmethode in Anwendung gebracht werden, welche gewöhnlich unter dem Namen der *Ablenkungsversuche* beschrieben wird.

Es ist diese auf Messung galvanischer Ströme angewendete Methode schon im LV. Bande dieser Annalen von mir erörtert und Seite 29 gesagt worden: „Die Methode, das *Moment eines Stabmagnetes* nach absolutem Maasse zu messen, würde sich unmittelbar auf die Messung des *Momentes einer geschlossenen galvanischen Kette* anwenden lassen, wenn diese ganze Kette keinen grösseren Raum als jener Magnet einnähme, und dabei auf gleicher Entfernung eine eben so grosse Ablenkung der Nadel hervorbrächte"[2]).

Ich bemerke nun zunächst, dass diese beiden Bedingungen wirklich zugleich erfüllt werden können, wenn man über einen *starken* Strom in

---

[1]) [Emil Stöhrer. Einige Bemerkungen über die Konstruktion magneto-elektrischer Maschinen, und Beschreibung der zusammengesetzten magneto-elektrischen Maschine. Annalen der Physik und Chemie 1844, Bd. 61, p. 417.]

[2]) [W. Weber. Messung starker galvanischer Ströme nach absolutem Maasse. Annalen d. Physik und Chemie 1842, Bd. 55, p. 27. W. Weber's Werke, Bd. III.]

einem *langen Drahte* frei verfügen kann, was bei unserer magneto-elektrischen Maschine der Fall ist.

Es wurde nämlich aus einem etwa $^2/_3$ Millimeter dicken, 370 Berliner Ellen langen übersponnenen Kupferdrahte eine Rolle von etwa 120 Millimeter Durchmesser gebildet und der Strom der Maschine durch dieselbe geleitet. Ihre Wirkung war dann, wie die eines starken Magnetes, in der Ferne noch so gross, dass die dadurch hervorgebrachte Ablenkung eines Magnetometers, mit Hülfe von Spiegel und Fernrohr, sich genau messen liess. Es liessen sich also damit ähnliche Ablenkungsversuche machen, wie mit einem Magnetstabe bei der Messung der Intensität des horizontalen Theiles der erdmagnetischen Kraft nach absolutem Maasse nach der von Gauss gegebenen Vorschrift ausgeführt werden.

Zu diesem Zwecke wurde nun ein kleines (Reise-)Magnetometer gebraucht, dessen Nadel 150 Millimeter lang und mit dem Spiegel versehen war. Die Mitte der Drahtrolle wurde von der Mitte jener Nadel 816 Millimeter, und zwar in der Richtung senkrecht auf den magnetischen Meridian, zuerst nach *Osten*, sodann nach *Westen*, entfernt. Die Drahtrolle wurde dabei in eine solche Lage gebracht, dass ihre verlängerte Axe die Nadel halbirte, d. i. so, dass die Lage der *Ablenkungsrolle* ganz der Lage des *Ablenkungsstabes* entsprach.

Hierauf wurde der Stand des Magnetometers beobachtet, und diese Beobachtung wiederholt, nachdem der Strom in der Rolle umgekehrt worden worden war, was der Verwechselung der Pole des Ablenkungsstabes entspricht. Aus der Differenz dieser beiden beobachteten Magnetometerstände und derjenigen, welche sich ergab, wenn die Ablenkungsrolle von ihrer *östlichen* Lage in die *westliche* versetzt war, wurde das *Mittel* erhalten:

$$= 89{,}15 \text{ Skalentheile,}$$

wo der Bogenwerth jedes Skalentheiles, in Theilen des Halbmessers ausgedrückt

$$= \frac{1}{1990}$$

war.

### I. *Bestimmung des Widerstandes des um die Induktionsrollen der Maschine gewundenen Drahtes.*

Die angegebene Methode der Messung wurde nun benutzt, um *zuerst* den Widerstand des Drahtes, welcher um die Induktionsrollen der Maschine gewunden war, zu bestimmen. Es war dazu nur nöthig, die vorige Messung zu wiederholen, nachdem noch ein längerer Draht in die Kette eingeschaltet worden war, und zwar in solcher Lage und Entfernung, dass er auf den Stand des Magnetometers keinen Einfluss

hatte. Es wurde dazu ein 1664 Berliner Ellen langer Kupferdraht von derselben Sorte, wie derjenige, woraus die Ablenkungsrolle bestand, genommen, und es ergab sich damit im Mittel die Differenz der Magnetometerstände

$$= 58{,}868 \text{ Skalentheile.}$$

Wendet man nun hierauf die Ohm'schen Gesetze an, bezeichnet mit $A$ die galvanomotorische Kraft, mit $R$ die in Berliner Ellen ausgedrückte Länge eines Drahtes von gleicher Art, wie zur Ablenkungsrolle, dessen Widerstand dem Widerstande des um die Induktionsrollen der Maschine gewundenen Drahtes gleich ist, und bemerkt man dabei, dass die Verbindungsdrähte der Maschine mit der Ablenkungsrolle 15 Berliner Ellen der angegebenen Drahtsorte äquivalent waren, so ergeben sich aus obigem Versuche folgende zwei Gleichungen:

$$\frac{A}{R + 15 + 370} = 89{,}15,$$

$$\frac{A}{R + 15 + 370 + 1664} = 58{,}868,$$

woraus $A = 288380$ und $R = 2850$ folgt, d. h. der Widerstand des um die Induktionsrollen der Maschine gewundenen Drahtes war dem Widerstande von 2850 Berliner Ellen Draht von der Sorte, welcher zur Ablenkungsrolle gebraucht wurde, gleich.

Hierbei ist zu erwähnen, dass diese um sechs Induktionsrollen gewundenen Drähte auch so kombinirt werden können, dass sie einen 6 Mal kürzeren Draht von sechsfachem Querschnitt bilden, ihr Widerstand also 36 Mal kleiner ist. Wird dieser Widerstand mit $R'$ bezeichnet, so ist $R' = 79\,{}^1/_6$ Berliner Ellen.

II. *Abhängigkeit der Stromstärke von der Schnelligkeit des Wechsels.*

Unter *Wechsel* wird der Uebergang der Induktionsrollen von einem Pole zum entgegengesetzten bei der Drehung der Maschine verstanden. Bei jeder Umdrehung der Stöhrer'schen Maschine findet also ein sechsmaliger Wechsel Statt.

Bei den bisherigen Versuchen war die Maschine immer gleichförmig so gedreht worden, dass 27,9 Wechsel in 1 Sekunde Statt fanden. Es wurden nun dieselben Versuche wiederholt, *zuerst* bei 33,48 Wechseln in 1 Sekunde, *sodann* bei 44,64 Wechseln in 1 Sekunde. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tafel zusammengestellt.

| Zahl der Wechsel | Mittlere Differenz der beobachteten Magnetometerstände. |
|---|---|
| 27,90 | 89,150 |
| 33,48 | 95,263 |
| 44,64 | 101,646 |

Es wäre interessant gewesen, diese Versuche noch weiter fortzusetzen und die Zahl der Wechsel in 1 Sekunde noch bedeutend zu vermehren, um zu sehen, ob die Stromstärke bei immer zunehmender Geschwindigkeit ein Maximum erreiche, und sodann wieder abnehme, was aus dem vorliegenden Versuche nicht erkenntlich ist: es liess sich aber dies nicht mit der Regelmässigkeit und so lange Zeit, als es zur Ausführung der Messungen nothwendig war, bewerkstelligen.

Wenn das Eisen in den Induktionsrollen vollkommen weich wäre, so dass zur Herstellung des magnetischen Gleichgewichtes keine merkliche Zeit erfordert würde, so würde die Stromstärke mit der Zahl der Wechsel proportional sein, d. i.

$$g = an,$$

wenn $g$ die Stromstärke, $n$ die Zahl der Wechsel in 1 Sekunde und $a$ eine Konstante bezeichnet. Die Koercitivkraft des Eisens, welche desto grösseren Einfluss gewinnt, je grösser die Zahl der Wechsel ist, macht, dass dieses nicht der Fall ist.

Vorausgesetzt nun, dass mit Beschleunigung der Wechsel die Stromstärke ein Maximum erreicht und von da an wieder abnimmt, lässt sich die Abhängigkeit der Stromstärke von der Zahl der Wechsel durch folgende Gleichung darstellen:

$$g = \frac{an}{1 + bn + cn^2},$$

wo $a$, $b$ und $c$ drei aus den Versuchen zu bestimmende Konstante sind, deren Werthe sich aus obigen Versuchen ergeben:

$$a = 5{,}74435$$
$$b = 0{,}019393$$
$$c = 0{,}0003297.$$

Für 18,2 Wechsel in 1 Sekunde würde sich hieraus die Stromstärke, nach Skalentheilen gemessen, $= 71{,}5$ ergeben. Das Strommaximum findet hiernach für $n = 55$ statt, und ist $= 103{,}1$.

### III. *Maass der Wirksamkeit der Maschine.*

Die magneto-elektrische Maschine bringt einen Strom hervor, dessen Stärke für gewisse Schnelligkeiten der Wechsel in gegebenen Leitungs-

drähten durch obige Versuche näher bestimmt worden ist. Die Wirkungen, welche dadurch hervorgebracht werden können, hängen aber nicht allein von der Stromstärke, sondern auch von der Drahtlänge ab, welche zur Ablenkungsrolle oder zu dem Multiplikator verwendet werden kann, durch welchen der Strom z. B. auf eine Magnetnadel, oder auf ein Stück weiches Eisen wirkt. Die *Wirksamkeit der Maschine* ist daher mit demselben Rechte nach dieser *Drahtlänge*, wie nach jener *Stromstärke* abzuschätzen, und kann folglich durch das *Produkt beider* gemessen werden. Nach Verschiedenheit der Umstände erhält dieses Produkt verschiedene Werthe, unter denen eines ein *Maximum* ist. Dieses letztere soll vorzugsweise zum *Maass der Wirksamkeit der Maschine* genommen werden.

Jenes Produkt ist ein Maximum, wenn erstens der ganze Leitungsdraht ausserhalb der Maschine zum wirkenden Multiplikator oder zur Ablenkungsrolle verwendet wird; zweitens der Widerstand in dem äusseren Leitungsdrahte dem Widerstande des Drahtes in der Maschine gleich ist. Bei Stöhrer's Maschine findet dies Statt, wenn der äussere Draht (von der Sorte der Ablenkungsrolle) 2850 Berliner Ellen lang ist, wo dann die Stromstärke nach dem Ohm'schen Gesetze

$$= \frac{A}{2 \cdot 2850}$$

sein würde. Da $A$ aus obigen Versuchen gefunden worden ist:

$$A = 288\,380,$$

so ergiebt sich jene Stromstärke hieraus:

$$\frac{A}{2 \cdot 2850} = 50{,}6.$$

Wird diese mit der Drahtlänge = 2850 multiplicirt, so erhält man das Maass der Wirksamkeit

$$= \tfrac{1}{2} A = 144\,190.$$

Diese Bestimmung gilt für 27,9 Wechsel in 1 Sekunde. Für 18,2 Wechsel in 1 Sekunde, wo

$$\frac{A}{2850 + 15 + 370} = 71{,}5$$

gewesen sein würde, also

$$A = 231\,300,$$

ergiebt sich die Stromstärke in einem 2850 Ellen langen *äusseren* Leitungsdrahte

$$\frac{A}{2 \cdot 2850} = 40{,}58$$

und durch Multiplikation mit der Drahtlänge = 2850 das Maass der Wirksamkeit der Maschine

$$\tfrac{1}{2}A = 115650.$$

IV. *Vergleichung der Wirksamkeit der Maschine bei verschiedener Kombination der Drähte.*

Es ist schon erwähnt worden, dass die Drähte der Induktionsrollen in der Maschine auch so verbunden werden können, dass sie einen 6 Mal kürzeren Draht von 6fachem Querschnitte darstellen, dessen Widerstand 36 Mal kleiner = $79^1/_6$ Berliner Ellen ist.

Bei dieser zweiten Kombination der Drähte wurden nun ähnliche Versuche wie bei der ersten ausgeführt, und es ergaben sich daraus für 27,9 Wechsel in 1 Sekunde folgende Gleichungen:

$$\frac{A}{79^1/_6 + 15 + 370} = 78{,}479$$

$$\frac{A}{79^1/_6 + 15 + 370 + 834} = 26{,}625,$$

woraus der Werth von $A$ im Mittel gefunden wird:

$$A = 35500,$$

folglich das Maass der Wirksamkeit der Maschine bei dieser zweiten Kombination der Drähte

$$= \tfrac{1}{2}A = 17750.$$

Wollte man nun auf diese Angaben eine Vergleichung der Wirksamkeit der Maschine bei diesen verschiedenen Kombinationen der Induktionsrollen begründen, so müsste man zuvor die Leitungsdrähte, durch welche die Maschine wirkt, auf äquivalente Drähte von *gleicher Masse* reduciren.

Nun ist ein $79^1/_6$ Ellen langer Draht mit einem Drahte von 6facher Länge und 6fachem Querschnitt äquivalent, und dieser würde gleiche Masse haben, wie der 2850 Ellen lange Draht, welcher im ersteren Falle als Schliessungsdraht angenommen worden ist. Durch Substitution dieses äquivalenten Drahtes erhält man aber einen 6 Mal grösseren Werth als Maass der Wirksamkeit der Maschine, nämlich:

$$106500,$$

welcher nun vergleichbar ist mit dem für die erste Kombination der Drähte erhaltenen Resultate

$$144190.$$

Man sieht daraus, dass die Wirksamkeit der Maschine bei 27,9 Wechseln

in 1 Sekunde nach der ersten Kombination der Drähte beträchtlich grösser, als nach der zweiten ist.

In der That wäre eine Gleichheit der Wirksamkeit in beiden Fällen nur dann zu erwarten, wenn die Induktion in allen sechs Induktionsrollen gleichzeitig als ganz gleich vorausgesetzt werden dürfte; wenn dies nicht der Fall ist, so muss die Wirksamkeit bei der zweiten Kombinationsweise nothwendig geschwächt werden.

### V. *Vergleichung der Wirksamkeit der* Stöhrer'*schen Maschine mit einer Maschine von* Oertling.

Das physikalische Institut in Leipzig besitzt eine vortrefflich konstruirte magneto-elektrische Maschine von Oertling in Berlin. Es schien nun interessant, die Wirksamkeit auch dieser Maschine auf dieselbe Weise, wie die der Stöhrer'schen, zu bestimmen. In dieser Absicht sind mit der Oertling'schen Maschine ähnliche Versuche, wie die oben beschriebenen, gemacht worden, aus denen sich den Ohm'schen Gesetzen gemäss folgende Gleichungen ergeben haben:

$$\frac{A}{R+15+370}=24{,}425$$

$$\frac{A}{R+15+370+834}=9{,}982,$$

woraus

$$A=14079$$

$$R=191{,}4$$

folglich die Stromstärke in einem 191,4 Berliner Ellen langen Schliessungsdrahte von der mehrmals bezeichneten Sorte

$$=\frac{14079}{2\cdot 191{,}4}=36{,}8.$$

Würde man nun bei dieser Maschine einen 191,4 Berliner Ellen langen Kupferdraht von der früher bezeichneten Sorte zum Schliessungsdraht gebrauchen, so würde derselbe eine 14,89 Mal geringere Masse, als der 2850 Berliner Ellen lange Schliessungsdraht der Stöhrer'schen Maschine besitzen. Um beide Schliessungsdrähte auf gleiche Massen zu reduciren, können wir statt des ersteren einen äquivalenten Draht von 3,859 facher Länge und 3,859 fachem Querschnitt einführen, der mit dem von 2850 Ellen Länge gleiche Masse hat. Das Maass für die Wirksamkeit der Oertling'schen Maschine ergiebt sich dann

$$=3{,}859\cdot\tfrac{1}{2}A=27165.$$

Dieses Resultat, welches für 18,2 Wechsel in 1 Sekunde gilt, ist also

vergleichbar mit dem oben bei gleichem Wechsel für die Stöhrer'sche Maschine erhaltenen Resultate

$$= 115650.$$

Hierbei ist aber zu beachten, dass die Stöhrer'sche Maschine als ein Komplex *dreier* Oertling'schen Maschinen zu betrachten ist, weil sie sechs Induktionsrollen mit drei Hufeisenmagneten umfasst, so dass ein Wechsel von sechs Induktionsrollen immer zugleich Statt findet, während die Oertling'sche Maschine nur zwei Induktionsrollen mit einem Hufeisenmagnet enthält, so dass zugleich immer nur ein Wechsel von zwei Induktionsrollen zugleich eintritt. Hiernach erhält man also das Verhältniss der Wirksamkeit einer gleichen Zahl von Elementen in beiden Maschinen

$$27164 : \frac{115650}{3} = 1 : 1{,}42.$$

Also auch dann, wenn man die Maschine in ihren einzelnen Elementen betrachtet, bleibt der Stöhrer'schen Maschine ein erheblicher Vorzug. Der Grund hiervon lag in dem Mangel des Kommutators bei der Oertling'schen Maschine. Es war hier nämlich zu obigen Versuchen statt der Kommutation blos die Einrichtung getroffen, dass die Kette einen Wechsel um den anderen ganz gelöst wurde, woraus folgt, dass nur der halbe Strom erhalten wird, wie bei Anwendung eines Kommutators. Das Verhältniss gleicher Zahl von Elementen in Oertling's und Stöhrer's Maschine würde sich also, wenn beide gleiche Kommutatoren hätten, wie 1 : 0,71 ergeben haben. Ein solches Resultat war aber zu erwarten, weil der Magnet der Oertling'schen Maschine bedeutend grösser ist, als der Magnet in der Stöhrer'schen Maschine.

## VI. *Die Wirksamkeit magneto-elektrischer Maschinen nach absolutem Maasse.*

Aus dem Vorhergehenden lässt sich entnehmen, dass zur Vergleichung der Wirksamkeit verschiedener Maschinen nöthig ist:

1. *Gleiche Geschwindigkeit des Wechsels* zum Grunde zu legen;
2. die Wirksamkeit nach dem *Produkte der Stromstärke in die Länge des disponiblen Schliessungsdrahtes* zu beurtheilen;
3. den disponiblen Schliessungsdraht bei jeder Maschine dabei so abzumessen, dass *die Hälfte des Gesammtwiderstandes in der Kette* auf ihn kommt;
4. endlich nach den Gesetzen äquivalenter Leitungsdrähte die disponiblen Schliessungsdrähte der verschiedenen Maschinen auf *gleiche Massen von gleichem Metall* zu reduciren.

Die Vergleichung der Wirksamkeit solcher Maschinen lässt sich endlich noch auf die mit anderen Stromquellen ausdehnen; wobei es jedoch von Belang sein würde, wenn man entweder das Maximum der Stromstärke, welches durch Beschleunigung des Wechsels erreichbar wäre, wenn ein solches existirte, oder wenn kein solches Statt fände, die Grenze zum Grunde legen könnte, welcher die Stromstärke mit zunehmender Schnelligkeit des Wechsels sich näherte.

Allen diesen Bestimmungen über die Wirksamkeit magnetoelektrischer Maschinen kann endlich aber ein noch höherer Werth, als diese Vergleichungen haben, ertheilt werden, wenn man sie auf absolutes Maass reducirt, wodurch sie unabhängig von den Instrumenten werden, welche man benutzt hat, und von Ort und Zeit, wo die Versuche gemacht wurden. Methode und Hülfsmittel sind dazu vorhanden.

Denn es kommt dabei hauptsächlich nur auf die Bestimmung der *Stromstärke* nach absolutem Maasse an, die ich schon im LV. Bande dieser Annalen[1]) erläutert habe, und die sich auch aus den hier beschriebenen Versuchen leicht ableiten lässt.

Wir setzen, zum Zweck dieser absoluten Bestimmung einen Wechsel in einer Sekunde voraus.

Die Stromstärke ist dafür in Skalentheilen bestimmt worden

$$= 5{,}74435 \text{ Skalentheile}^{2)},$$

welche die *doppelte* durch die Ablenkungsrolle hervorgebrachte Ablenkung der Magnetnadel vom magnetischen Meridian angeben.

Die *einfache* Ablenkung ist also halb so gross, und lässt sich durch Multiplikation mit dem absoluten (in Theilen des Halbmessers ausgedrückten) Bogenwerth eines Skalentheiles $= \frac{1}{1990}$ nach absolutem Maasse bestimmen

$$= \frac{5{,}74435}{2 \cdot 1990} = 0{,}0014433.$$

Die auf die Magnetnadel wirkende Kraft, welche diese Ablenkung der Magnetnadel hervorbrachte, verhält sich nun zur Kraft, mit welcher die Erde auf die Nadel wirkt, wie dieser Bruch zur Einheit, oder jene Kraft kann ausgedrückt werden durch

$$0{,}0014433 \cdot T,$$

wo $T$ den Erdmagnetismus bezeichnet.

---

[1]) [Siehe Anmerkung 2, S. 260.]

[2]) (Hierbei wird von dem Einflusse der Koercitivkraft des Eisens abstrahirt.)

Der Erdmagnetismus, nach absolutem Maasse bestimmt, war nun für Leipzig durch besondere Versuche gefunden worden:

$$T = 1{,}82.$$

Jene Kraft wird also nach absolutem Maass gefunden:

$$= 0{,}0014433 \cdot 1{,}82 = 0{,}0026268.$$

Diese Kraft war nun von der Ablenkungsrolle aus der Entfernung von 816 Millimeter auf die Magnetnadel ausgeübt worden. Wir können leicht den Magnetismus $M$ eines Ablenkungsstabes nach absolutem Maass bestimmen, der, an die Stelle und in die der *Ablenkungsrolle* entsprechende Lage gebracht, die nämliche Kraft auf die Magnetnadel ausgeübt haben würde, nämlich nach der bekannten Gleichung (wenn wir das Glied vernachlässigen, in dessen Nenner die fünfte Potenz der Entfernung steht):

$$\operatorname{tang} v = \frac{2M}{T} \cdot \frac{1}{R^3},$$

wo in unserem Falle

$$T \operatorname{tang} v = 0{,}0026268, \quad R = 816$$

zu setzen ist, folglich

$$M = 713630.$$

*Die Stromstärke nach absolutem Maasse* nach der in diesen Annalen Bd. LV, S. 31[1]) gegebenen Bestimmung wird nun aus diesem Werthe von $M$ gefunden, wenn man ihn mit derjenigen Fläche $S$ dividirt, welche von dem Drahte der Ablenkungsrolle umwunden wird.

Aus der Zahl der Umwindungen und deren Durchmesser ist diese Fläche in Quadratmillimetern, welche nach den von Gauss gewählten Grundmaassen als Flächenmaass zu betrachten sind, berechnet worden:

$$S = 8313440,$$

woraus sich also die Stromstärke nach absolutem Maasse ergiebt:

$$\frac{713630}{8313440} = 0{,}08584.$$

Ueber diesen Strom disponirt man nach den oben gegebenen Bestimmungen in einem Drahte von 2850 Berliner Ellen = 1788600 Millimeter Länge, dessen Masse 5825800 Milligramm betrug. Zur absoluten Bestimmung ist nun statt dessen ein äquivalenter Draht von der Masseneinheit, d. i. ein Milligramm, zu setzen. Ein solcher Draht muss

---

[1]) [Siehe Anmerkung 2, S. 260.]

$\sqrt{5825800} = 2413,7$ Mal kürzer sein und 2413,7 Mal kleineren Querschnitt haben, d. i. er wird

$$\frac{1788600}{2413,7} = 741 \text{ Millimeter}$$

lang sein.

Hieraus wird nun endlich die Wirksamkeit der Maschine auf absolute Maasse (auf 1 Wechsel in 1 Sekunde und auf 1 Milligramm Masse des disponiblen Schliessungsdrahtes) reducirt erhalten, wenn man diese Länge von 741 Millimeter mit der Stromstärke 0,08584 multiplicirt

$$= 63,6.$$

Für $n$ Wechsel in 1 Sekunde und für $m$ Milligramm Masse des disponiblen Schliessungsdrahtes erhält man im Allgemeinen hieraus die Wirksamkeit nach absolutem Maasse

$$= 63,6 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{m}}{1 + 0,019393 \cdot n + 0,0003297 \cdot n^2},$$

wobei immer vorausgesetzt wird, dass der Widerstand des disponiblen Schliessungsdrahtes die Hälfte des Gesammtwiderstandes in der Kette betrage; für ein gegebenes $m$ wird dieser Werth ein Maximum für $n = 55$. Obiger Ausdruck erhält dann den Werth

$$63,6 \cdot \frac{55 \cdot \sqrt{m}}{2 + 0,019393 \cdot 55} = 1141,7 \cdot \sqrt{m}.$$

Um diese grösste Wirksamkeit, deren unsere magneto-elektrische Maschine fähig ist, mit der Wirksamkeit anderer Quellen des Galvanismus zu vergleichen, wollen wir beispielsweise die *Kohlenzinkkette* von Bunsen wählen, über welche Hr. Dr. Casselmann in Marburg, unter Bunsen's Leitung, eine sehr interessante Schrift herausgegeben hat:

„Ueber die galvanische Kohlenzinkkette und einige mit derselben angestellte Beobachtungen. Marburg, 1843“.

Aus den in der zu S. 37 dieser Schrift gehörigen Tafel mitgetheilten Beobachtungen ergiebt sich (wenn man den ersten sehr abweichenden Versuch ausscheidet) für die Stromstärke *nach absolutem Maasse*, der Ausdruck

$$\frac{600000}{3387 + r},$$

folglich für $r = 3387$

$$= 88,575.$$

Diese Stromstärke wirkt dabei in einem 3387 Millimeter langen Drahte von 1 *Quadratmillimeter Querschnitt*, dessen Masse

$$= 3387 \cdot 8,878 \text{ Milligramm}$$

betrug, d. h.

$$m = 30068.$$

Hiernach ist das Maass der Wirksamkeit eines solchen Bechers

$$= \frac{88{,}575 \cdot 3387}{\sqrt{30068}} \cdot \sqrt{m} = 1730 \cdot \sqrt{m}.$$

Hieraus ergiebt sich also, dass die STÖHRER'sche Maschine bei 55 Wechseln in 1 Sekunde einem BUNSEN'schen Becher an Wirksamkeit nur etwa um ein Drittel nachsteht: ein Resultat, was die Erwartungen, die man von solchen magneto-elektrischen Maschinen gehegt hat, fast zu übertreffen scheint.

Diese Maschinen werden ohne Zweifel mit der Zeit eine noch grössere praktische Wichtigkeit erlangen. Denn wenn auch vor der Hand noch ihre Wirksamkeit von vielen anderen galvanischen Apparaten übertroffen wird, und auch nicht zu erwarten steht, dass durch bessere Konstruktion so viel erreicht werde, wie mit hydrogalvanischen Ketten, so haben sie doch darin einen grossen praktischen Vorzug vor letzteren, dass sie unveränderlich und unabhängig von allen chemischen Processen sind. Sie gewähren für alle Zwecke, zu welchen ihre Kraft genügt, die grösste Bequemlichkeit im Gebrauche, weil sie ohne Vorbereitung jederzeit fertig und anwendbar sind, sobald nur ein Rad oder eine Kurbel gedreht wird. Der praktische Gebrauch der Maschine wird mit ihren Leistungen sich schnell erweitern. Es ist daher wichtig, dass jede Verbesserung geprüft und das Wachsthum der Leistungen Schritt für Schritt verfolgt werde.

Dazu führen solche Bestimmungen über ihre Wirksamkeit, wie hier eine solche beispielsweise gegeben worden ist.

Es wäre zu wünschen, dass solche Bestimmungen häufiger gemacht würden; durch dieselben kann der Wetteifer unter den Künstlern belebt und in der Folge die beste Einsicht über die allmählige Vervollkommnung der Maschine gewonnen werden.

Aus dem gegebenen Beispiele geht übrigens hervor, dass solche Bestimmungen weder grosse Hülfsmittel, noch viele Arbeit fordern; alle dazu nöthigen Versuche lassen sich mit vorbereitetem Apparate in einer Stunde bequem ausführen.

Auch zur Verständigung zwischen Bestellern und Verfertigern solcher Maschinen sind solche Bestimmungen ein wesentliches Bedürfniss, und können keineswegs durch die bei aller Weitläufigkeit doch stets unvollständigen Beschreibungen der mit solchen Maschinen hervorgebrachten Wirkungen ersetzt werden. Wie die Besteller und Verfertiger von Dampfmaschinen über die Zahl der Pferdekräfte, womit sie arbeiten sollen, übereinkommen: auf ähnliche Weise sollte bei Bestellung magneto-elektrischer Maschinen verfahren werden, indem nach

den gegebenen Vorschriften die Leistungen der Maschinen vorausbestimmt und nachher erprobt würden.

Schliesslich will ich noch eine Bemerkung über die grösste *magnetische Wirksamkeit* der Maschine beifügen. Der Schliessungsdraht der Maschine besitzt bekanntlich *magnetische Kräfte,* die nicht blos von der *Stromstärke* und *Drahtlänge,* sondern auch von der *Form des Drahtes* abhängen. Nach Verschiedenheit der Form, welche dem Drahte gegeben wird, kommt ihm ein verschiedenes *magnetisches Moment* (der Definition gemäss, welche davon in der Lehre vom Magnetismus gegeben wird) zu. Für eine bestimmte Form des Drahtes wird dieses Moment ein Maximum, und diese Form ist die *Kreisform.*

Setzen wir diese Kreisform voraus, so ergiebt sich das merkwürdige Resultat, dass, wenn wir zum Schliessungsdrahte successive verschiedene *äquivalente Drähte von demselben Metalle* (Kupfer) nehmen, d. h. Drähte, deren Längen und Querschnitte in dem nämlichen Verhältnisse stehen, die also ihrer *Masse* nach verschieden sind, ihre *magnetischen Momente ihren Massen direkt proportional* sind. Man kann dieses Verhältniss benutzen zur Vergleichung dieser Schliessungsdrähte mit Stahlmagneten.

Dasselbe Gesetz findet nämlich auch auf Stahl Anwendung, bei gleicher Beschaffenheit des Stahles, ähnlicher Form und beim Maximum der Magnetisirung; und es hat sich bei günstiger Form das *magnetische Moment für die Masseneinheit*, d. i. für 1 Milligramm Stahl ungefähr

$$= 400 \text{ Einheiten},$$

nach absolutem Maasse ergeben.

Für die Masseneinheit, d. i. für 1 Milligramm Kupfer, unserer äquivalenten Schliessungsdrähte ergiebt sich nun nach obigen Versuchen noch ein viel grösseres magnetisches Moment (vorausgesetzt, dass 55 Wechsel in 1 Sekunde Statt finden, und dass der Widerstand unserer äquivalenten Schliessungsdrähte dem Widerstande der Induktorrollen gleich ist), nämlich

$$= 67326 \text{ Einheiten}$$

nach absolutem Maasse. Man findet dieses leicht, wenn man beachtet, dass dieses magnetische Moment eines Kreisstromes erhalten wird, wenn man die *Kreisfläche* $s$ mit der *Stromstärke* $g$ multiplicirt. Nun haben wir oben die Länge eines solchen äquivalenten Leitungsdrahtes von 1 Milligramm Masse

$$= 741 \text{ Millimeter}$$

gefunden; folglich ergiebt sich die Fläche $s$ eines Kreises, dessen Umfang 741 Millimeter beträgt,

$$s = \frac{741^2}{4\pi}.$$

Ferner war für diesen Draht das Maass der Wirksamkeit der Maschine

$$= 741\, g = 1141{,}7.$$

Aus diesen beiden Bestimmungen erhält man also:

$$gs = 1141{,}7 \cdot \frac{741}{4\pi} = 67326.$$

Ist nun die Masse eines äquivalenten Drahtes $= m$ Milligramm, so ist seine Länge, und folglich auch sein Querschnitt, $\sqrt{m}$ Mal grösser, während $g$ unverändert bleibt. Wird aber die Länge des Drahtes oder der Umfang des Kreises $\sqrt{m}$ Mal grösser, so wird die Kreisfläche $m$ Mal grösser, folglich das *magnetische Moment*

$$= gs = 67326 \,.\, m,$$

d. i. *die magnetischen Momente* verhalten sich *den Massen der Drähte proportional,* wie oben angegeben worden ist.

## XXV.

# Professor Wilhelm Weber to Colonel Sabine.

[Proceedings connected with the magnetical and meteorological conference, held at Cambridge in June 1845, p. 19—21.]

Leipzig, 1845, February 20.

*Hochgeehrter Herr!* — Ich weiss, dass ich Ihnen auf die vom Magnetic Committee vorgelegten Fragen keine Antwort geben kann, welche irgend wichtige und neue Notizen für Sie enthielte; dennoch verfehle ich nicht, der mir gewordenen Aufforderung zu entsprechen, indem ich Ihnen ganz anheim stelle, ob und welchen Gebrauch Sie davon machen wollen.

I. Wir setzen wohl Alle das Vertrauen in diejenigen Regierungen, welche zur Begründung *systematischer* magnetischer Beobachtungen auf der Erdoberfläche beigetragen haben, dass sie auch den *regelmässigen Fortgang* dieser systematischen Beobachtungen für die Zukunft sichern werden. In diesem Vertrauen habe auch ich die Errichtung eines magnetischen Observatoriums kürzlich noch hier in Leipzig betrieben. Das in den ersten sechs Jahren ausgeführte System von Beobachtungen ist ein sehr umfassendes gewesen, welches darauf berechnet war, *allen* Forderungen zu genügen, sowohl denen, welche aus der *bleibenden Aufgabe* entspringen, zu deren Lösung jedes Jahr und jedes Zeitalter seinen Beitrag liefern soll, als auch denen, welche in einer Menge *vorübergehender* oder ein für alle Mal zu lösender Aufgaben begründet waren. Welche Aufgaben der letzteren Art nach Ablauf der ersten sechs Jahre nun schon als vollkommen gelöst und erledigt betrachtet werden dürfen, darüber steht uns hier noch kein Urtheil zu; aber das Magnetic Committee wird vielleicht jetzt schon ein Urtheil darüber aus den ihm allein vorliegenden Materialien fällen können. Es muss daher dem Magnetic Committee die Entscheidung überlassen bleiben, welche Forderungen in Betreff jener Art *vorübergehender Aufgaben* an die Zukunft noch übrig bleiben, und ich beschränke mich auf eine Antwort darauf, ob die *bleibende Aufgabe* für sich allein die fernere Beibehaltung des *ganzen Beobachtungs-Systems* erfordere, welches für die ersten sechs Jahre angenommen worden war. Wenn es sich künftig einmal nur noch um die stets *bleibende Aufgabe* handelt, nämlich

von Jahr zu Jahr die Veränderungen genau zu bestimmen, welche in den vier und zwanzig (künftig vielleicht 35) Elementen der Erdmagnetismus-Theorie Platz nehmen,

so werden, wie ich glaube, dann beträchtliche Reduktionen in dem obigen sehr umfassenden Systeme vorgenommen werden dürfen.

*Nothwendig* für diese *bleibende Aufgabe* scheint mir

1. die Erhaltung aller Observatorien auf entfernten Stationen ausser Europa;
2. die regelmässige (monatliche) Wiederholung *aller absoluten Messungen* in allen diesen Observatorien.

*Nicht nothwendig* für diese *bleibende Aufgabe* betrachte ich dagegen:

1. die bisherigen Termins-Beobachtungen, — die vielleicht künftig auf die europäischen Stationen beschränkt werden dürften;
2. die zweistündigen täglichen Beobachtungen, — die sich dann vielleicht auf achtstündige reduciren liessen.

Kurz es scheint mir möglich, wenn man wirklich so weit gelangt ist, dass blos die *bleibende Aufgabe* noch in Rücksicht kommt, das System der Beobachtungen in der Art zu vereinfachen, dass ein wohl unterrichteter und geübter Beobachter auf jedem Observatorium genügt und keines Assistenten bedarf. Ein solches beschränkteres System von Beobachtungen muss stets ununterbrochen fortgesetzt werden, wenn die *Geschichte des Erdmagnetismus* kein blosses Stückwerk bleiben soll und wenn die darauf beruhenden *magnetischen Karten* diejenige Präcision und Planmässigkeit erlangen sollen, welche sie für die Praxis so nützlich machen würden.

II. Was den *mittelbaren* Erfolg betrifft, welchen die *systematische* Betreibung der magnetischen Beobachtungen durch Anregung und Förderung anderer wissenschaftlicher Bestrebungen gehabt habe, so lassen sich zwar diese Wirkungen schon jetzt nicht verkennen, doch bedürfen dieselben Zeit zu weiterer Entfaltung, bevor man ihren ganzen Umfang und ihre volle Wichtigkeit übersehen kann.

In Deutschland z. B. existirten bisher blosse Sammlungen physikalischer Instrumente ohne feste Einrichtungen zu ihrer Benutzung, es gab keine physikalischen *Laboratorien* und *Observatorien.* Solche Laboratorien und Observatorien, welche für die Fortschritte der Wissenschaft unentbehrlich geworden sind, fangen jetzt an zu entstehen, und die den magnetischen Beobachtungen gemachten Bewilligungen geben dabei einen festen und sicheren *Stützpunkt,* wie ich aus eigener Erfahrung bezeugen kann. Seitdem ferner die magnetischen Beobachtungen ihre neuere Ausbildung und Vollendung gewonnen haben, haben wir in Deutschland mehrfach begonnen die *galvanischen* Beobachtungen analogen Principien zu unterwerfen und wir haben auch dafür *absolute Maasse* eingeführt. Für alle diese Untersuchungen bilden aber die magnetischen Beobach-

tungen *nothwendige Elemente,* die dabei als gegeben betrachtet werden müssen. Die magnetischen Beobachtungen sind daher nicht blos zur Erforschung des Erdmagnetismus nothwendig, sondern sie sind jetzt auch ein wichtiges Element für *viele andere physikalische Untersuchungen* geworden. An unseren Universitäten wird endlich die Wichtigkeit immer mehr erkannt, welche die Bildung *exakter Natur-Beobachter* für die Wissenschaft und für das praktische Leben hat. Bisher bot nur die Astronomie eine sehr einseitige Gelegenheit zur Bildung feiner Beobachter dar, welche nur von Wenigen benutzt werden konnte. Die Erfahrung hat bewiesen, dass magnetische Observatorien zu vortrefflichen *Bildungs-Anstalten* für Beobachter dienen können.

III. Was die Instrumente betrifft, so scheint mir, wenn die bisherigen Resultate den Erwartungen des Magnetic Committee entsprechen sollten, kein Grund zu einer Aenderung vorzuliegen; selbst aber wenn hier und da die Erwartungen des Magnetic Committee in den Resultaten sich getäuscht fänden, würde ich doch die Ueberzeugung hegen, dass die Schuld davon (die vertikalen Variationen ausgenommen) nicht in den Instrumenten, sondern im Mangel kunstgerechter Behandlung einzelner Beobachter zu suchen sei; und dass daher durch Vertauschung der Instrumente die Sache eher verschlimmert als verbessert werden möchte, weil jedes neue Instrument eine neue kunstgerechte Behandlung fordern würde. Mir scheint es in jeder Beziehung rathsam, die bisherigen Instrumente im Wesentlichen beizubehalten. Doch würde ich es für sehr nützlich halten, wenn häufiger die Gelegenheit benutzt würde, dass Magnetstäbe, deren Schwingungsdauer (und Temperatur) in dem einen magnetischen Observatorium genau gemessen worden wäre, nach einem anderen Observatorium versandt würden, um ihre Schwingungsdauer auch dort messen zu lassen, und umgekehrt. Es würde dadurch eine Kontrole für die absoluten Intensitätsmessungen gewonnen werden, welche von Wichtigkeit wäre, so lange man noch nicht überall auf eine ganz zuverlässige Ausführung der absoluten Messungen sollte trauen können.

Ich benutze diese Gelegenheit, Ihnen, hochgeehrter Herr, meinen Dank für den Empfang des ersten Bandes Observations on days of unusual Magnetic Disturbance, für mich sowohl als für das hiesige Observatorium auszusprechen; dagegen bemerke ich, dass die anderen im Schreiben des Magnetic Committee genannten Bücher mir bisher nicht zugekommen sind, nämlich the 1st and the 2nd volume of the Greenwich Observations, and the 1st volume of the Observations at the Government Stations.

Mit wahrer Hochachtung
Ihr stets ergebenster
*Wilhelm Weber.*

XXVI.

# Ueber die Anwendung der magnetischen Induktion auf Messung der Inklination mit dem Magnetometer.

Von

**Wilhelm Ed. Weber.**

---

Mit einer Kupfertafel.[1])

Aus dem fünften Bande der Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen.

**Göttingen.**
1853.

[Im Auszuge abgedruckt in den Annalen der Physik u. Chemie 1853, Bd. 90, p. 209—247.]

---

[1]) [Tafel IX.]

Es ist bekannt, dass die Beobachtungen des Erdmagnetismus durch die vom Herrn Geheimen Hofrath Gauss in der Abhandlung „Intensitas“ aufgestellten Messungsprincipien und durch die zu ihrer Durchführung in Anwendung gebrachten Magnetometer von blossen Vergleichungen zu wahren Maassbestimmungen erhoben worden sind, und zugleich einen Grad von Präcision erlangt haben, welcher dem der astronomischen Beobachtungen kaum etwas nachgiebt. Das hierauf begründete jetzt allgemein angenommene Messungssystem erstreckt sich unmittelbar nur auf die horizontalen Elemente des Erdmagnetismus, *Deklination* und *horizontale Intensität,* wobei das Magnetometer in seiner doppelten Form als *Unifilar-* und *Bifilar-Magnetometer* Anwendung findet. Die von Gauss in der „Allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus“ entwickelten Lehren beweisen nun zwar, dass diese horizontalen Elemente für sich allein schon ein in seiner Art abgeschlossenes Beobachtungssystem liefern können, auf welches sich eine vollständige Bestimmung des Erdmagnetismus gründen lässt, und dass es dazu der *Inklinationsbeobachtungen* nicht nothwendig bedarf; jedoch bleibt ein solches Beobachtungssystem mit Zuziehung der Inklinationsbeobachtungen leichter zu beschaffen, weshalb auf letztere nicht verzichtet werden kann. Es fehlt nun aber diesen letzteren Beobachtungen jene in der Beobachtung der horizontalen Elemente durch die Magnetometer erworbene Klassicität, und dieser Mangel hat wesentlich einen doppelten Grund, *erstens* darin, dass die Wirkung der vertikalen magnetischen Kraft nicht für sich allein, sondern nur mit der Wirkung der Schwerkraft unserer ponderabelen Nadeln verbunden beobachtet wird. Durch Ummagnetisirung der Nadel lassen sich zwar so verschiedene Verbindungen beider Kräfte darstellen, dass eine Scheidung des von jeder einzelnen Kraft herrührenden Antheiles an der Wirkung möglich wird; die auf diese Weise von der vertikalen magnetischen Kraft gewonnene Bestimmung kann aber nie den Grad der Präcision erreichen, wie die Bestimmung der horizontalen magnetischen Kraft, welche aus den Wirkungen, welche sie für sich allein und unvermischt mit anderen Kräften hervorbringt, direkt erforscht werden kann. *Zweitens* findet die *magnetometrische Einrichtung,* worauf die

Möglichkeit *feinerer* Beobachtung beruht, auf die zur Inklinationsmessung gebrauchten Instrumente keine Anwendung, wegen des Einflusses der Reibung, dem diese Instrumente unterworfen sind, welcher die Anwendung feinerer Beobachtungsmittel illusorisch machen würde. Diese Mängel sind mit den Verhältnissen, unter welchen die Wirkung des vertikalen Theiles des Magnetismus der Erde auf den *Magnetismus* anderer Körper beobachtet werden muss, so verbunden, dass sie auf keine Weise vermieden werden können, und die kunstreiche Anordnung und Verbindung der Beobachtungen kann nur dazu dienen, die nachtheiligen Folgen dieser Mängel zu vermindern, aber nicht zu beseitigen.

Der Magnetismus der Erde wirkt aber nicht blos auf den *Magnetismus*, sondern auch auf die *Elektricität* anderer Körper, und es leuchtet ein, dass diese letztere Wirkung eben so wie jene erstere zu seiner Erforschung dienen kann. Mit dieser neuen Grundlage, auf deren Bedeutung ebenfalls von GAUSS, gleich nach FARADAY's Entdeckung der magnetischen Induktion, aufmerksam gemacht worden ist, habe ich ein neues Instrument zur Messung der Inklination unter dem Namen *Induktions-Inklinatorium* (Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1837, S. 81)[1]) dargestellt, welches von dem ersten der beiden angeführten Mängel aller anderen Inklinatorien ganz frei war: es fand dabei nämlich keine Vermischung der Wirkung des vertikalen Theiles des Erdmagnetismus mit der Schwerkraft Statt, und es war daher auch keine Ummagnetisirung erforderlich, um den Antheil des vertikalen Theiles des Erdmagnetismus an der Wirkung von dem der Schwerkraft zu scheiden. Es blieb aber noch der zweite Mangel übrig, nämlich der, dass sich auch mit diesem Instrumente die magnetometrische Einrichtung zur feineren Beobachtung nicht verbinden liess, weshalb diese neue Methode praktisch erfolglos bleiben musste.

Es ist mir aber jetzt gelungen, auch diesen zweiten Mangel zu heben und Einrichtungen zu treffen, wo die *elektrische Wirkung* sowohl des vertikalen als auch des horizontalen Theiles des Erdmagnetismus mit dem *Magnetometer*, und zwar mit dem Unifilar-Magnetometer, mit derselben Präcision gemessen werden kann, welche bisher blos den magnetometrischen Bestimmungen der horizontalen Elemente eigen war. Diese „Anwendung der magnetischen Induktion auf Messung der Inklination mit dem Magnetometer“ ist der Gegenstand gegenwärtiger Abhandlung. Es führt diese erweiterte Anwendung des Magnetometers auf die Ausführung von Inklinationsmessungen zu einer Gleichförmigkeit der Behandlung und zu einer Sicherheit und Genauigkeit in der Bestimmung aller magnetischen Elemente, welche für die praktische

---

[1]) [WILHELM WEBER's Werke, Bd. II, p. 75.]

Lösung der Aufgabe einer genauen und vollständigen Erforschung des Erdmagnetismus nicht ohne Bedeutung ist.

Um von diesem Instrumente zunächst einen einfachen allgemeinen Begriff zu geben, erinnere ich an die bekannten Einrichtungen der jetzt gebräuchlichen *elektromagnetischen Telegraphen*, welche von doppelter Art sind, je nachdem die elektrischen Ströme, welche zum Zeichengeben benutzt werden, entweder von einer *galvanischen Säule* ausgehen, oder im elektrischen Leiter durch *magnetische Kräfte* inducirt werden. Ich habe nun einen Telegraphen der letzteren Art konstruirt, wo *die magnetische Kraft der Erde* zur Induktion der elektrischen Ströme dient, und zwar so starker Ströme, dass sie zum Zeichengeben benutzt werden können. Dabei kann nach Belieben bald die *vertikale* bald die *horizontale* Komponente jener Kraft für die Induktion in Anwendung gebracht werden. Ist nun dieser Telegraph ein sogenannter Nadel-Telegraph (wie in England gebräuchlich ist), wo der Strom das Zeichen dadurch giebt, dass er durch einen Multiplikator geht und eine in letzterem aufgehangene Boussole vom magnetischen Meridiane ablenkt; so übersieht man leicht, dass durch eine genaue Vergleichung der Grösse dieser Ablenkungen das *Verhältniss der Stärke* der von der *vertikalen* und *horizontalen* Komponente der erdmagnetischen Kraft inducirten elektrischen Ströme bestimmt werden kann, d. i. die *Tangente der gesuchten Inklination.* Es kommt bei der Konstruktion dieses Telegraphen nur darauf an, *fein messbare Ablenkungen* der Boussole darzustellen und dabei alle *störenden Einflüsse,* z. B. die mit einer *Kommutation* der Drahtverbindungen verknüpften, auszuschliessen. Zu *ersterem* Zwecke muss, wie von selbst einleuchtet, die gemeine Boussole im Multiplikator mit einem *Magnetometer* vertauscht werden. Die damit in der Beobachtung der Ablenkungen erreichbare Feinheit würde aber von keinem Nutzen sein, wenn nicht zugleich alle auf diese Ablenkung störend einwirkenden fremdartigen Einflüsse vermieden werden könnten. Zur Erreichung dieses *anderen* Zweckes kommt es wesentlich darauf an, 1. dass zur Vergrösserung der Ablenkung *keine Kommutation* gebraucht, 2. dass die Grösse der Ablenkung *unabhängig von der Geschwindigkeit der Induktionsbewegung* gemacht werde. Denn die Kette muss erstens ganz *unverändert* bleiben, wenn die beobachteten Ablenkungen eine genaue Vergleichung der Kräfte, durch welche sie hervorgebracht wurden, gestatten sollen; und diese Kräfte dürfen zweitens selbst keinen Schwankungen unterworfen sein, wie es der Fall sein würde, wenn sie von der Geschwindigkeit der Induktionsbewegung und deren Messungen abhingen. Ich werde zeigen, dass beide Bedingungen auf das Vollkommenste erfüllt werden können, wenn die ganze Induktionsbewegung auf einen einfachen momentan auszuführenden *Induktionsstoss* beschränkt

wird, der stark genug ist, um eine mit dem Magnetometer auf das Feinste messbare Ablenkung hervorzubringen. Ein solcher einfacher Induktionsstoss besteht in einer halben Umdrehung des Induktors, bei welcher keine Kommutation in der Verbindung des Induktordrahtes mit dem des Multiplikators nöthig ist, weil während einer solchen halben Umdrehung kein Wechsel in der Richtung des inducirten Stromes Statt findet.

Eine Abbildung und Erklärung des Instrumentes im Einzelnen wird am Schlusse dieser Abhandlung beigefügt werden; vor der Hand genügt es zu bemerken, dass ein einziger in sich zurücklaufender Kupferdraht sowohl den *Multiplikator* als auch den *Induktor* bildet, die beide in schicklicher Entfernung von einander (so dass die Magnetometernadel von der Mitte des Multiplikators aus am Orte des Induktors keinen merklichen Einfluss im Vergleich mit dem Erdmagnetismus ausübt) sich befinden und durch zwei parallele Stücke Kupferdraht mit einander zusammen hängen. Der Induktor ist stellbar, entweder so, dass seine Drehungsaxe vertikal steht, oder so, dass sie horizontal und dem magnetischen Meridiane parallel gerichtet ist. In beiden Stellungen kann der Induktor in jedem beliebigen Augenblicke plötzlich im Halbkreis herum gedreht werden, dort um die *vertikale* Axe, hier um die *horizontale.* Eine solche rasch ausgeführte Drehung des Induktors um 180 Grad heisst ein *Induktionsstoss.* Den beiden angegebenen Stellungen des Induktors entsprechen dann zwei Arten von Induktionsstössen, welche sich wesentlich dadurch von einander unterscheiden, dass bei den ersteren nur die *horizontale,* bei den letzteren nur die *vertikale* Komponente der erdmagnetischen Kraft inducirend wirkt, vorausgesetzt, dass die beschriebenen Drehungen im ersteren Falle wirklich genau um eine *vertikale,* im letzteren Falle genau um eine *horizontale* Axe geschehen. Ueber die Anwendung solcher *Induktionsstösse* zu feinen Messungen siehe die „Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1838“ (Leipzig 1839)[1]) und „Abhandlungen über elektrodynamische Maassbestimmungen“ (Leipzig, Weidmann'sche Buchhandlung, 1852), zweite Abhandlung Beilage C, S. 341 ff.[2]), wo auch die Regeln entwickelt sind, nach welchen die von den inducirten elektrischen Strömen hervorgebrachten Ablenkungen der Magnetometernadel im Multiplikator *multiplicirt* und die Beobachtungen derselben der Rechnung unterworfen werden. Es ist nicht nöthig, diese Regeln hier nochmals zu entwickeln, sondern es können sogleich die nach diesen Regeln ausgeführten Beobachtungen selbst angeführt werden, woraus sich am besten über-

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 105.]

[2]) [Ebendaselbst, Bd. III, Abhandlung X.]

sehen lässt, ob dieses Instrument für die Messung der Inklination die erforderliche Feinheit mit der beabsichtigten Vereinfachung der Arbeit wirklich verbinde, wie es der Fall sein muss, wenn es im Vergleich mit den Leistungen der besten vorhandenen Inklinatorien von wesentlichem Nutzen sein soll.

## I. *Beobachtungen der magnetischen Inklination mit dem Induktions-Magnetometer.*

Nach Aufstellung des Magnetometers und Multiplikators wurde die Stellung des Induktors so regulirt, dass 1. seine eigene Axe (d. h. die Axe der Cylinderfläche, auf welche der Draht gewunden war) horizontal und dem magnetischen Meridiane parallel gerichtet war, 2. dass die Axe, um welche diese Rolle 180° vorwärts oder rückwärts gedreht werden konnte, genau *vertikal* stand, was mit einer auf den oberen Drehungszapfen gestellten Libelle auf wenige Bogen-Sekunden genau geprüft werden konnte. Die Magnetometernadel im Multiplikator war beim Beginn der Versuche im magnetischen Meridiane ganz in Ruhe, was durch die Dämpfungskraft des Multiplikators bewirkt wurde, welche verstärkt worden war, indem die beiden Drahtstücke, durch welche Multiplikator und Induktor zusammen hingen, mit einander unmittelbar durch eine kupferne Klammer verbunden und der Multiplikator dadurch in sich selbst abgeschlossen wurde. Bei so verstärkter Dämpfung verhielten sich zwei auf einander folgende Schwingungsbögen der Nadel wie 100 : 71; folglich ward der Schwingungsbogen nach 30 Schwingungen, oder, da die Schwingungsdauer 18 Sekunden betrug, in 9 Minuten, durch diese Dämpfung 29000 Mal verkleinert, d. h. die Nadel war ganz in Ruhe, so gross auch ihr anfänglicher Schwingungsbogen gewesen war. Die zu schnellerer Dämpfung gebrauchte Klemme wurde nun vor Anfang der Beobachtungen entfernt und darauf der *erste* (positive) Induktionsstoss mit dem Induktor gegeben. Dies konnte von dem am Fernrohr stehenden Beobachter selbst durch einen zu diesem Zwecke eingerichteten Fusstritt geschehen; bei den folgenden Beobachtungen geschah es aber durch einen Gehülfen mit einer an der Induktorrolle angebrachten Kurbel. Die durch diesen Induktionsstoss in Bewegung gesetzte Nadel entfernte sich vom magnetischen Meridiane und erreichte nach 9 Sekunden (nach einer halben Schwingungsdauer) das Maximum ihrer östlichen oder westlichen Ablenkung, welches von dem Beobachter, nach vorher bemerktem Ruhestande der Nadel, aufgezeichnet wurde. Hierauf kehrte die Nadel um und ging nach ungefähr 9 Sekunden wieder durch den magnetischen Meridian. In diesem Augenblicke erfolgte der *zweite* (negative) Induktionsstoss, indem der Induktor wieder 180° zurück-

gedreht wurde, wodurch die Nadel in ihrer Rückwärtsbewegung beschleunigt ward. Die so beschleunigte Nadel erreichte darauf nach 9 Sekunden das Maximum ihrer westlichen oder östlichen Ablenkung, welches wiederum aufgezeichnet wurde u. s. f. Die folgende Tafel I giebt unter No. 0 den ursprünglichen Ruhestand und unter No. 1—16 die 16 darauf folgenden auf die beschriebene Weise beobachteten Elongationen. Diese Beobachtungen dauerten kaum 5 Minuten lang.

Tafel I.

Göttingen, 1852. Aug. 3. $0^h 20^m — 0^h 25^m$.

| No. | Stand der Nadel bei der beobachteten Elongation in Skalentheilen. | No. | Stand der Nadel bei der beobachteten Elongation in Skalentheilen. |
|---|---|---|---|
| 0. | 1236,2 | 9. | 1030,8 |
| 1. | 1195,0 | 10. | 1450,9 |
| 2. | 1313,8 | 11. | 1014,7 |
| 3. | 1131,1 | 12. | 1464,0 |
| 4. | 1367,4 | 13. | 1003,1 |
| 5. | 1085,6 | 14. | 1473,4 |
| 6. | 1405,3 | 15. | 996,9 |
| 7. | 1053,2 | 16. | 1479,8 |
| 8. | 1432,0 | | |

Nach der letzten Beobachtung wurde sogleich die Klemme zur Verstärkung der Dämpfungskraft des Multiplikators wieder geschlossen und während der Beruhigung der Nadel der Induktor umgestellt und so regulirt, dass 1. seine eigene Axe vertikal stand, 2. die Axe, um welche er 180° vorwärts oder rückwärts gedreht werden konnte, von nun an eine genau *horizontale,* dem magnetischen Meridiane parallele, Lage erhielt, was, wie bei einem Theodolithen, durch eine auf beide Drehungszapfen zugleich aufgestellte Libelle geprüft wurde. Nach Entfernung der zur Dämpfung gebrauchten Klemme wurde sodann die zweite Beobachtungsreihe, eben so wie die erste, ausgeführt und dieselbe darauf noch 3 Mal wiederholt, in Zwischenzeiten von 10 Minuten, welche jedesmal zur Beruhigung der Nadel nöthig waren. Auf diese 4 bei gleicher Stellung des Induktors ausgeführten Beobachtungsreihen folgte die letzte, bei welcher wieder dieselbe Stellung des Induktors wie bei der ersten hergestellt wurde. Die folgende Tafel II giebt die Uebersicht von diesen 6 Beobachtungsreihen, welche mit Einschluss der zur Dämpfung und Einstellung des Induktors erforderlichen Zwischenzeiten in $1^h 20^m$ ausgeführt wurden. Die einzelnen Reihen sind mit den Buchstaben *A B C D E F* bezeichnet worden.

Tafel II.

Göttingen, 1852. Aug. 3. $0^h 20^m$ — $1^h 40^m$.

| No. | Stand der Nadel bei der beobachteten Elongation. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| 0. | 1236,2 | 1235,1 | 1234,4 | 1233,8 | 1233,7 | 1233,3 |
| 1. | 1195,0 | 1335,2 | 1334,9 | 1334,9 | 1333,8 | 1192,2 |
| 2. | 1313,8 | 1052,7 | 1052,0 | 1051,0 | 1050,1 | 1310,7 |
| 3. | 1131,1 | 1488,9 | 1488,3 | 1488,0 | 1487,0 | 1128,4 |
| 4. | 1367,4 | 922,8 | 921,9 | 920,9 | 920,1 | 1364,4 |
| 5. | 1085,6 | 1596,8 | 1597,5 | 1597,1 | 1595,9 | 1083,0 |
| 6. | 1405,3 | 830,4 | 829,7 | 828,7 | 827,9 | 1402,8 |
| 7. | 1053,2 | 1674,6 | 1674,6 | 1673,8 | 1672,6 | 1050,9 |
| 8. | 1432,0 | 764,9 | 764,0 | 762,9 | 762,0 | 1429,8 |
| 9. | 1030,8 | 1728,8 | 1728,9 | 1728,0 | 1726,9 | 1028,1 |
| 10. | 1450,9 | 717,9 | 717,0 | 715,9 | 715,2 | 1448,9 |
| 11. | 1014,7 | 1767,8 | 1768,0 | 1767,0 | 1766,1 | 1012,1 |
| 12. | 1464,0 | 684,3 | 684,0 | 683,0 | 682,1 | 1462,2 |
| 13. | 1003,1 | 1795,4 | 1795,4 | 1794,6 | 1793,9 | 1000,6 |
| 14. | 1473,4 | 661,0 | 660,6 | 659,8 | 659,0 | 1471,8 |
| 15. | 996,9 | 1815,0 | 1814,9 | 1814,2 | 1813,6 | 993,2 |
| 16. | 1479,8 | 644,3 | 644,2 | 643,0 | 642,4 | 1478,2 |

Zieht man nun den unter No. 0 angegebenen Ruhestand von den beobachteten Elongationen unter No. 1—16 in jeder Beobachtungsreihe ab, so erhält man die entsprechenden Elongationsweiten der Nadel, wie sie in der folgenden Tafel III zusammen gestellt sind. Die Vorzeichen, die immer abwechselnd positiv und negativ sind, sind weggelassen worden.

Tafel III.

Göttingen, 1852. Aug. 3. $0^h 20^m$ — $1^h 40^m$.

| No. | Elongationsweiten. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| 1. | 41,2 | 100,1 | 100,5 | 101,1 | 100,1 | 41,1 |
| 2. | 77,6 | 182,4 | 182,4 | 182,8 | 183,6 | 77,4 |
| 3. | 105,1 | 253,8 | 253,9 | 254,2 | 253,3 | 104,9 |
| 4. | 131,2 | 312,3 | 312,5 | 312,9 | 313,6 | 131,1 |
| 5. | 150,6 | 361,7 | 363,1 | 363,3 | 362,2 | 150,3 |
| 6. | 169,1 | 404,7 | 404,7 | 405,1 | 405,8 | 169,5 |
| 7. | 183,0 | 439,5 | 440,2 | 440,0 | 438,9 | 182,4 |
| 8. | 195,8 | 470,2 | 470,4 | 470,9 | 471,7 | 196,5 |
| 9. | 205,4 | 493,7 | 494,5 | 494,2 | 493,2 | 205,2 |

| | Elongationsweiten. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | *A* | *B* | *C* | *D* | *E* | *F* |
| 10. | 214,7 | 517,2 | 517,4 | 517,9 | 518,5 | 215,6 |
| 11. | 221,5 | 532,7 | 533,6 | 533,2 | 532,4 | 221,2 |
| 12. | 227,8 | 550,8 | 550,4 | 550,8 | 551,6 | 228,9 |
| 13. | 233,1 | 560,3 | 561,0 | 560,8 | 560,2 | 232,7 |
| 14. | 237,2 | 574,1 | 573,8 | 574,0 | 574,7 | 238,5 |
| 15. | 239,3 | 579,9 | 580,5 | 580,4 | 579,9 | 240,1 |
| 16. | 243,6 | 590,8 | 590,2 | 590,8 | 591,3 | 244,9 |

In jeder von diesen Reihen sieht man die Elongationsweite wachsen aber nicht gleichförmig, sondern nach dem Gesetze der Dämpfung einem Grenzwerthe sich nähernd, woraus leicht die Stärke der Dämpfung oder das decrementum logarithmicum bestimmt werden kann. Bezeichnet man nämlich jenen Grenzwerth mit $a$ und das decrementum logarithmicum mit log $(1/\vartheta)$; so wird die Elongationsweite No. $n = x_n$ ausgedrückt durch $a(1-\vartheta^n) = x_n$, woraus folgt:

$$a = \frac{x^2_n}{2x_n - x_{2n}}$$

$$\text{decrem. log.} = \log\frac{1}{\vartheta} = \frac{1}{n}\log\frac{x_n}{x_{2n} - x_n}\,.$$

Hiernach ergiebt sich das decrementum logarithmicum aus den vorliegenden Beobachtungen nahe

$$\log\frac{1}{\vartheta} = 0{,}075$$

und näherungsweise der Grenzwerth für die Beobachtungsreihen $A$, $F = 261{,}7$, für die Beobachtungsreihen $B$, $C$, $D$, $E = 627$.

An obigen Werthen der Elongationsweiten lassen sich nun noch folgende Korrektionen anbringen, nämlich:

1. für den Einfluss, welchen die beim Beginn der Beobachtungen vorhandene Schwingung der Nadel hat.

Bezeichnet man die dem ersten Induktionsstosse vorausgegangene Elongation der Nadel mit $\pm e$, so ist der zunächst folgenden $\pm e\vartheta$, der zweiten $\pm e\vartheta^2$, der dritten $\pm e\vartheta^3$ u. s. f. hinzuzufügen. Für obige Beobachtungen, wo $e = 0$ war, fällt diese Korrektion weg;

2. diejenige Korrektion, durch welche die beobachteten, nach katoptrischen Gesetzen den Tangenten der doppelten Ablenkungswinkel proportionalen Elongationsweiten auf solche Werthe reducirt werden, welche dem Sinus des halben Elongationswinkels, d. i. der ablenkenden Kraft, proportional sind. Hierzu muss am Magnetometer der horizontale Ab-

stand des Spiegels von der Skale in Skalentheilen gegeben sein, welcher bei unserem Magnetometer

$$r = 3685$$

Skalentheile war. Bezeichnet $x$ die beobachtete Elongationsweite, so ist ihr reducirter Werth

$$= x - \frac{11}{32} \cdot \frac{x^3}{r^2}.$$

Nach dieser Reduktion giebt jede in den Kolumnen $B$, $C$, $D$, $E$ enthaltene Beobachtung eine Bestimmung der *Tangente der Inklination*, wenn man sie mit dem Mittel aus den beiden unter $A$, $F$ enthaltenen Beobachtungen dividirt, wie Tafel IV zeigt.

Tafel IV.

| No. | *B* | *C* | *D* | *E* |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 67° 40′ 30″ | 67° 45′ 27″ | 67° 52′ 37″ | 67° 40′ 39″ |
| 2. | 66° 57′ 26″ | 66° 57′ 26″ | 67° 0′ 9″ | 67° 5′ 33″ |
| 3. | 67° 29′ 37″ | 67° 30′ 2″ | 67° 31′ 28″ | 67° 27′ 9″ |
| 4. | 67° 10′ 31″ | 67° 11′ 19″ | 67° 12′ 53″ | 67° 15′ 38″ |
| 5. | 67° 21′ 15″ | 67° 25′ 59″ | 67° 26′ 39″ | 67° 22′ 57″ |
| 6. | 67° 14′ 13″ | 67° 14′ 13″ | 67° 15′ 26″ | 67° 17′ 33″ |
| 7. | 67° 20′ 51″ | 67° 22′ 48″ | 67° 22′ 15″ | 67° 19′ 11″ |
| 8. | 67° 15′ 30″ | 67° 16′ 2″ | 67° 17′ 20″ | 67° 19′ 26″ |
| 9. | 67° 18′ 59″ | 67° 20′ 58″ | 67° 20′ 14″ | 67° 17′ 44″ |
| 10. | 67° 17′ 55″ | 67° 18′ 24″ | 67° 19′ 35″ | 67° 21′ 0″ |
| 11. | 67° 18′ 48″ | 67° 20′ 53″ | 67° 22′ 46″ | 67° 18′ 6″ |
| 12. | 67° 21′ 28″ | 67° 20′ 34″ | 67° 21′ 28″ | 67° 23′ 15″ |
| 13. | 67° 17′ 27″ | 67° 19′ 0″ | 67° 18′ 33″ | 67° 17′ 14″ |
| 14. | 67° 21′ 18″ | 67° 20′ 40″ | 67° 21′ 6″ | 67° 22′ 36″ |
| 15. | 67° 24′ 15″ | 67° 25′ 31″ | 67° 25′ 19″ | 67° 24′ 15″ |
| 16. | 67° 23′ 18″ | 67° 22′ 3″ | 67° 23′ 18″ | 67° 24′ 21″ |

Den genauesten Werth der Tangente der Inklination erhält man aus jeder von den Beobachtungsreihen, $B$, $C$, $D$, $E$, wenn man ihre Summe mit dem Mittel aus den Summen der beiden Reihen $A$, $F$ dividirt. Zu diesem Zwecke kann man die oben erwähnten Korrektionen, statt an allen einzelnen Beobachtungen auch an ihrer Summe anbringen, nämlich

1. statt $+ e\vartheta^n$ jeder einzelnen Beobachtung kann man der Summe aller 16 Beobachtungen $+ e \frac{\vartheta(1 - \vartheta^{16})}{1 - \vartheta}$ hinzufügen, und

2. statt $\frac{11}{32} \cdot \frac{x^3}{r^2}$ von jeder einzelnen Beobachtung $x$ abzuziehen, kann man von ihrer Summe $s$, wenn

$$p = \frac{16 - 3\vartheta\,\frac{1-\vartheta^{16}}{1-\vartheta} + 3\vartheta^2\,\frac{1-\vartheta^{32}}{1-\vartheta^2} - \vartheta^3\,\frac{1-\vartheta^{48}}{1-\vartheta^3}}{\left(16-\vartheta\,\frac{1-\vartheta^{16}}{1-\vartheta}\right)^3}$$

gesetzt wird, $\frac{11}{32}\cdot\frac{ps^3}{r^2}$ abziehen, wodurch die Rechnung vereinfacht wird, weil $p$ immer denselben Werth behält. Bezeichnet man die Summen der Reihen $A$, $B$, $C$, $D$, $E$, $F$ mit den nämlichen Buchstaben, so erhält man nach Ausführung dieser Korrektion

$$A = 2873{,}05 \qquad B = 6881{,}27$$
$$F = 2877{,}15 \qquad C = 6886{,}10$$
$$D = 6889{,}36$$
$$E = 6887{,}98$$

und hiernach ergeben sich aus den 4 Beobachtungsreihen $B$, $C$, $D$, $E$ folgende 4 Bestimmungen der Inklination $I$

| tang $I$ | $I$ |
|---|---|
| $\frac{6881{,}27}{2875{,}10}$ | 67° 19′ 26″ |
| $\frac{6886{,}10}{2875{,}10}$ | 67° 20′ 18″ |
| $\frac{6889{,}36}{2875{,}10}$ | 67° 20′ 53″ |
| $\frac{6887{,}98}{2875{,}10}$ | 67° 20′ 38″ |

Auf dieselbe Weise sind nun alle in der folgenden Tafel V enthaltenen, vom 2. bis 12. August an vier verschiedenen Tageszeiten, nämlich um $1^h$, $7^h$, $13^h$, $19^h$, gemachten Beobachtungen ausgeführt und berechnet worden, woran vier Beobachter, nämlich ausser mir Herr Dr. von Quintus Icilius, Herr Eisenlohr und Herr Hansen, Theil genommen haben, die mit Magnetometern zu beobachten gewohnt waren. Die Uebereinstimmung aller von diesen verschiedenen Beobachtern erhaltenen Resultate beweist, dass diese Messungen keiner anderen Vorübungen als alle übrigen Beobachtungen mit dem Magnetometer erfordern. Kürze halber ist in der folgenden Tafel von jeder oben mit $A$, $B$, $C$, $D$, $E$, $F$ bezeichneten Beobachtungsreihe nur die Summe angegeben worden, an welcher auch schon die nöthigen Korrektionen angebracht sind. Die in Parenthese beigefügten Zahlen geben, wenn man die Zahl 1200 hinzufügt, den Ruhestand der Nadel am Anfang jeder Reihe in Skalentheilen.

## Tafel V.

| Göttingen 1852. | 1h | | 7h | | 13h | | 19h | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *A F* | *B C D E* | *A F* | *B C D E* | *A F* | *B C D E* | *A F* | *B C D E* |
| Aug. 2. | | | 2859,05 | 6869,63 (52,4) | — | 6892,72 (53,8) | 2883,44 | 6851,12 (68,4) |
| | | | (51,3) | 6847,93 (52,5) | — | 6889,06 (57,0) | (69,5) | 6873,94 (66,4) |
| | | | 2866,55 | 6857,69 (50,0) | — | 6892,52 (54,1) | 2869,87 | 6890,86 (66,2) |
| | | | (51,1) | 6870,91 (50,8) | — | 6887,39 (54,9) | (63,4) | 6907,02 (63,9) |
| Aug. 3. | 2873,05 | 6881,27 (35,1) | 2870,15 | 6865,28 (47,9) | — | 6887,09 (55,4) | 2881,65 | 6917,05 (63,7) |
| | (36,2) | 6886,10 (34,4) | (48,5) | 6872,29 (50,5) | — | 6884,43 (57,0) | (67,0) | 6911,04 (63,4) |
| | 2877,15 | 6889,36 (33,8) | 2873,05 | 6878,31 (51,0) | — | 6870,03 (57,1) | 2869,87 | 6910,04 (62,5) |
| | (33,1) | 6887,98 (33,7) | (50,0) | 6879,09 (52,5) | — | 6879,59 (58,0) | (63,4) | 6897,72 (61,8) |
| Aug. 4. | 2889,15 | 6908,49 (39,5) | 2873,55 | 6878,11 (47,3) | 2869,95 | 6854,53 (47,0) | 2883,04 | 6911,06 (64,4) |
| | (40,6) | 6891,24 (38,3) | (47,9) | 6888,28 (48,1) | (55,0) | 6873,87 (50,5) | (63,9) | 6905,52 (62,8) |
| | 2889,15 | 6908,20 (38,3) | 2882,65 | 6890,05 (47,4) | 2873,35 | 6886,69 (56,0) | 2891,32 | 6906,40 (61,0) |
| | (35,0) | 6910,37 (38,3) | (48,6) | 6892,42 (47,3) | (57,0) | 6901,39 (52,9) | (61,9) | 6903,66 (62,1) |
| Aug. 5. | 2875,05 | 6872,89 (34,0) | 2882,55 | 6883,83 (41,9) | 2861,75 | 6837,86 (61,2) | 2889,95 | 6896,27 (53,3) |
| | (35,0) | 6880,18 (32,3) | (40,4) | 6885,25 (40,5) | (57,0) | 6857,09 (60,7) | (59,0) | 6897,41 (57,5) |
| | 2866,25 | 6885,90 (32,4) | 2882,05 | 6872,89 (37,0) | 2848,25 | 6834,60 (56,5) | 2874,85 | 6895,91 (61,6) |
| | (29,6) | 6882,74 (30,8) | (41,5) | 6871,41 (39,1) | (59,8) | 6846,15 (55,0) | (39,2) | 6894,92 (41,5) |
| Aug. 6. | 2875,75 | 6873,48 (30,9) | 2876,85 | 6874,76 (46,9) | 2873,85 | 6848,12 (48,0) | 2885,74 | 6912,61 (55,8) |
| | (31,0) | 6871,01 (28,6) | (45,7) | 6860,15 (45,0) | (46,0) | 6879,09 (49,2) | (46,6) | 6903,72 (51,4) |
| | 2859,45 | 6872,79 (28,5) | 2889,85 | 6879,49 (45,8) | 2871,75 | 6858,48 (48,5) | 2883,94 | 6912,42 (50,9) |
| | (27,5) | 6872,79 (26,3) | (42,3) | 6880,18 (42,1) | (48,7) | 6857,29 (47,7) | (54,6) | 6909,72 (52,2) |
| Aug. 7. | 2865,95 | 6879,59 (31,5) | 2881,05 | 6872,69 (45,1) | 2855,95 | 6876,52 (44,6) | 2894,51 | 6889,94 (55,7) |
| | (29,8) | 6871,92 (28,6) | (43,6) | 6876,33 (44,1) | (43,0) | 6868,06 (46,5) | (57,0) | 6900,22 (56,8) |
| | 2867,25 | 6871,60 (38,3) | 2874,45 | 6870,62 (43,0) | 2866,45 | 6880,08 (45,5) | 2889,91 | 6895,53 (53,3) |
| | (34,7) | 6876,44 (35,3) | (42,9) | 6883,64 (42,4) | (48,3) | 6870,62 (45,0) | (54,6) | 6910,30 (57,2) |
| Aug. 8. | 2885,45 | 6910,18 (29,0) | 2885,65 | 6900,80 (37,5) | 2878,85 | 6856,40 (50,3) | 2882,05 | 6915,05 (53,3) |
| | (30,0) | 6915,90 (29,8) | (36,9) | 6902,08 (39,7) | (53,0) | 6890,75 (45,9) | (48,5) | 6930,52 (57,4) |
| | 2886,15 | 6909,27 (28,6) | 2884,45 | 6901,29 (49,1) | 2864,55 | 6857,99 (47,0) | 2886,32 | 6930,71 (55,9) |
| | (22,3) | 6914,22 (22,7) | (46,7) | 6901,88 (50,4) | (45,5) | 6873,93 (46,9) | (58,0) | 6920,52 (59,1) |
| Aug. 9. | 2874,45 | 6862,25 (30,5) | 2888,85 | 6905,33 (43,5) | 2874,25 | 6874,04 (44,5) | 2890,90 | 6930,73 (48,3) |
| | (30,4) | 6865,71 (29,5) | (42,8) | 6900,11 (45,4) | (44,5) | 6891,66 (44,2) | (51,5) | 6923,02 (49,5) |
| | 2861,75 | 6883,32 (28,6) | 2881,65 | 6899,71 (44,9) | 2877,45 | 6881,82 (44,5) | 2902,09 | 6914,63 (51,5) |
| | (28,0) | 6871,05 (26,5) | (41,9) | 6898,33 (44,3) | (43,7) | 6897,62 (46,4) | (56,0) | 6916,90 (53,0) |
| Aug. 10. | 2879,75 | 6895,38 (27,1) | 2879,15 | 6894,39 (51,7) | 2865,45 | 6875,01 (36,8) | 2907,39 | 6911,46 (57,0) |
| | (26,1) | 6889,66 (24,2) | (57,3) | 6896,55 (43,2) | (42,5) | 6879,54 (37,8) | (55,5) | 6916,06 (55,6) |
| | 2877,85 | 6897,24 (25,6) | 2887,85 | 6896,85 (41,9) | 2867,15 | 6862,16 (45,4) | 2902,89 | 6938,96 (57,7) |
| | (27,0) | 6892,62 (25,7) | (43,7) | 6904,54 (41,3) | (44,4) | 6868,31 (41,8) | (51,0) | 6924,56 (54,0) |

| Göttingen 1852. | $1^h$ | | $7^h$ | | $13^h$ | | $19^h$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *A F* | *B C D E* | *A F* | *B C D E* | *A F* | *B C D E* | *A F* | *B C D E* |
| Aug. 11. | 2869,25 | 6862,63 (25,4) | 2887,05 | 6895,19 (40,6) | 2874,85 | 6885,08 (42,3) | 2880,73 | 6918,76 (49,0) |
| | (26,6) | 6874,39 (26,3) | (40,3) | 6898,33 (40,0) | (40,4) | 6882,94 (40,0) | (54,7) | 6911,56 (50,0) |
| | 2872,45 | 6893,91 (27,2) | 2888,15 | 6893,60 (40,1) | 2873,45 | 6882,70 (41,4) | 2875,95 | 6913,82 (49,0) |
| | (29,3) | 6889,15 (28,1) | (39,5) | 6877,82 (37,9) | (46,4) | 6877,36 (42,5) | (48,5) | 6919,26 (48,0) |
| Aug. 12. | 2862,25 | 6877,47 (29,8) | 2872,85 | 6881,37 (42,2) | 2862,75 | 6878,65 (42,5) | | |
| | (29,6) | 6878,94 (28,6) | (43,3) | 6875,94 (43,0) | (42,0) | 6881,60 (44,1) | | |
| | 2866,95 | 6846,20 (28,4) | 2879,95 | 6874,27 (43,1) | 2879,75 | 6894,09 (41,6) | | |
| | (25,9) | 6880,52 (27,3) | (43,1) | 6881,86 (42,9) | (42,5) | 6887,24 (39,9) | | |

Die in dieser Tafel zusammen gestellten Beobachtungen laufen von Aug. 2. $7^h$ bis Aug. 12. $13^h$ ununterbrochen fort und es fehlen nur für die beiden ersten Tage um $13^h$ die Beobachtungen *A*, *F*, welche sich auf die horizontale Komponente der erdmagnetischen Kraft beziehen. Es war nämlich Anfangs die Absicht, diese in der Nacht bei künstlicher Beleuchtung anzustellenden Beobachtungen auf die nothwendigsten zu beschränken, indem nur die auf die vertikale Komponente sich beziehenden ausgeführt würden; es ergab sich aber bald, dass auch bei künstlicher Beleuchtung die vollständige Ausführung der Beobachtungen keine Schwierigkeit findet. Um nun die für die beiden ersten Tage fehlenden Werthe von *A*, *F* zu ergänzen, ist der Werth 2868,9 angenommen worden, welcher das Mittel aus allen übrigen für dieselbe Tageszeit geltenden Bestimmungen ist. Hieraus sind nun die in der folgenden Tafel VI zusammengestellten Werthe der Inklination gefunden worden. Neben jeder Inklination ist der Unterschied vom Mittel aus allen für die nämliche Tageszeit geltenden Bestimmungen bemerkt worden.

### Tafel VI.

| Göttingen 1852. | $1^h$ | | $7^h$ | | $13^h$ | | $19^h$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 2. | | | 67° 22′ 36″ | + 4′ 35″ | 67° 24′ 6″ | + 3′ 14″ | 67° 13′ 24″ | — 5′ 57″ |
| | | | 67° 18′ 44″ | + 0′ 43″ | 67° 23′ 27″ | + 2′ 35″ | 67° 17′ 28″ | — 1′ 53″ |
| | | | 67° 20′ 29″ | + 2′ 28″ | 67° 24′ 3″ | + 3′ 11″ | 67° 20′ 28″ | + 1′ 7″ |
| | | | 67° 22′ 51″ | + 4′ 50″ | 67° 23′ 9″ | + 2′ 17″ | 67° 23′ 19″ | + 3′ 58″ |
| Aug. 3. | 67° 19′ 26″ | — 1′ 11″ | 67° 18′ 5″ | + 0′ 4″ | 67° 23′ 6″ | + 2′ 14″ | 67° 24′ 7″ | + 4′ 46″ |
| | 67° 20′ 18″ | — 0′ 19″ | 67° 19′ 20″ | + 1′ 19″ | 67° 22′ 38″ | + 1′ 46″ | 67° 23′ 12″ | + 3′ 51″ |
| | 67° 20′ 52″ | + 0′ 15″ | 67° 20′ 24″ | + 2′ 23″ | 67° 20′ 5″ | — 0′ 47″ | 67° 22′ 53″ | + 3′ 52″ |
| | 67° 20′ 38″ | + 0′ 1″ | 67° 20′ 32″ | + 2′ 31″ | 67° 21′ 46″ | + 0′ 54″ | 67° 20′ 42″ | + 1′ 21″ |

| Göttingen 1852. | 1h | | 7h | | 13h | | 19h | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aug. 4. | 67° 18′ 17″ | — 2′ 20″ | 67° 17′ 35″ | — 0′ 26″ | 67° 16′ 9″ | — 4′ 43″ | 67° 19′ 44″ | + 0′ 23″ |
| | 67° 15′ 14″ | — 5′ 23″ | 67° 19′ 23″ | + 1′ 22″ | 67° 19′ 35″ | — 1′ 17″ | 67° 18′ 36″ | — 0′ 45″ |
| | 67° 18′ 14″ | — 2′ 23″ | 67° 19′ 42″ | + 1′ 41″ | 67° 21′ 52″ | + 1′ 0″ | 67° 18′ 45″ | — 0′ 36″ |
| | 67° 18′ 37″ | — 2′ 0″ | 67° 20′ 7″ | + 2′ 6″ | 67° 24′ 27″ | + 3′ 35″ | 67° 18′ 16″ | — 1′ 5″ |
| Aug. 5. | 67° 19′ 50″ | — 0′ 47″ | 67° 16′ 49″ | — 1′ 12″ | 67° 20′ 17″ | — 0′ 35″ | 67° 18′ 59″ | — 0′ 22″ |
| | 67° 21′ 8″ | + 0′ 31″ | 67° 17′ 5″ | — 0′ 56″ | 67° 23′ 43″ | + 2′ 51″ | 67° 19′ 11″ | — 0′ 10″ |
| | 67° 22′ 9″ | + 1′ 32″ | 67° 14′ 53″ | — 3′ 8″ | 67° 19′ 42″ | — 1′ 10″ | 67° 18′ 55″ | — 0′ 26″ |
| | 67° 21′ 35″ | + 0′ 58″ | 67° 14′ 37″ | — 3′ 24″ | 67° 21′ 46″ | + 0′ 54″ | 67° 18′ 45″ | — 0′ 36″ |
| Aug. 6. | 67° 21′ 14″ | + 0′ 37″ | 67° 14′ 46″ | — 3′ 15″ | 67° 14′ 30″ | — 6′ 22″ | 67° 20′ 50″ | + 1′ 29″ |
| | 67° 20′ 47″ | + 0′ 10″ | 67° 12′ 10″ | — 5′ 51″ | 67° 20′ 0″ | — 0′ 52″ | 67° 19′ 16″ | — 0′ 5″ |
| | 67° 21′ 6″ | + 0′ 29″ | 67° 15′ 36″ | — 2′ 25″ | 67° 16′ 21″ | — 4′ 31″ | 67° 20′ 49″ | + 1′ 28″ |
| | 67° 21′ 6″ | + 0′ 29″ | 67° 15′ 44″ | — 2′ 17″ | 67° 16′ 8″ | — 4′ 44″ | 67° 20′ 18″ | + 0′ 57″ |
| Aug. 7. | 67° 22′ 54″ | + 2′ 17″ | 67° 16′ 47″ | — 1′ 14″ | 67° 24′ 30″ | + 3′ 38″ | 67° 13′ 42″ | — 5′ 39″ |
| | 67° 21′ 32″ | + 0′ 55″ | 67° 17′ 26″ | — 0′ 35″ | 67° 23′ 0″ | + 2′ 8″ | 67° 15′ 32″ | — 3′ 49″ |
| | 67° 21′ 29″ | + 0′ 52″ | 67° 16′ 25″ | — 1′ 36″ | 67° 25′ 7″ | + 4′ 15″ | 67° 14′ 42″ | — 4′ 39″ |
| | 67° 22′ 20″ | + 1′ 43″ | 67° 18′ 43″ | + 0′ 42″ | 67° 23′ 27″ | + 2′ 35″ | 67° 17′ 19″ | — 2′ 2″ |
| Aug. 8. | 67° 20′ 0″ | — 0′ 37″ | 67° 18′ 40″ | + 0′ 39″ | 67° 16′ 27″ | — 4′ 25″ | 67° 21′ 32″ | + 2′ 11″ |
| | 67° 21′ 0″ | + 0′ 23″ | 67° 18′ 53″ | + 0′ 52″ | 67° 22′ 33″ | + 1′ 41″ | 67° 24′ 16″ | + 4′ 55″ |
| | 67° 19′ 50″ | — 0′ 47″ | 67° 18′ 45″ | + 0′ 44″ | 67° 16′ 44″ | — 4′ 8″ | 67° 28′ 18″ | + 4′ 57″ |
| | 67° 20′ 42″ | + 0′ 5″ | 67° 18′ 51″ | + 0′ 50″ | 67° 19′ 34″ | — 1′ 18″ | 67° 22′ 30″ | + 3′ 9″ |
| Aug. 9. | 67° 19′ 2″ | — 1′ 35″ | 67° 19′ 23″ | + 1′ 22″ | 67° 17′ 49″ | — 3′ 3″ | 67° 19′ 6″ | — 0′ 15″ |
| | 67° 19′ 39″ | — 0′ 58″ | 67° 18′ 27″ | + 0′ 26″ | 67° 20′ 56″ | + 0′ 4″ | 67° 17′ 45″ | — 1′ 36″ |
| | 67° 22′ 46″ | + 2′ 9″ | 67° 18′ 23″ | + 0′ 22″ | 67° 19′ 12″ | — 1′ 40″ | 67° 16′ 16″ | — 3′ 5″ |
| | 67° 20′ 36″ | — 0′ 1″ | 67° 18′ 8″ | + 0′ 7″ | 67° 19′ 11″ | — 1′ 41″ | 67° 16′ 40″ | — 2′ 41″ |
| Aug. 10. | 67° 20′ 21″ | — 0′ 16″ | 67° 18′ 11″ | + 0′ 10″ | 67° 22′ 4″ | + 1′ 12″ | 67° 12′ 4″ | — 7′ 17″ |
| | 67° 19′ 21″ | — 1′ 16″ | 67° 18′ 34″ | + 0′ 33″ | 67° 22′ 52″ | + 2′ 0″ | 67° 12′ 52″ | — 6′ 29″ |
| | 67° 20′ 41″ | + 0′ 4″ | 67° 18′ 37″ | + 0′ 36″ | 67° 19′ 47″ | — 1′ 5″ | 67° 16′ 55″ | — 2′ 26″ |
| | 67° 19′ 52″ | — 0′ 45″ | 67° 19′ 58″ | + 1′ 57″ | 67° 20′ 52″ | — 0′ 0″ | 67° 14′ 22″ | — 4′ 59″ |
| Aug. 11. | 67° 17′ 55″ | — 2′ 42″ | 67° 16′ 35″ | — 1′ 26″ | 67° 20′ 30″ | — 0′ 22″ | 67° 24′ 40″ | — 0′ 16″ |
| | 67° 20′ 0″ | — 0′ 37″ | 67° 17′ 8″ | — 0′ 53″ | 67° 20′ 7″ | — 0′ 45″ | 67° 23′ 24″ | + 0′ 16″ |
| | 67° 23′ 26″ | + 2′ 49″ | 67° 16′ 18″ | — 1′ 43″ | 67° 20′ 4″ | — 0′ 48″ | 67° 23′ 48″ | + 2′ 28″ |
| | 67° 22′ 37″ | + 2′ 0″ | 67° 13′ 31″ | — 4′ 30″ | 67° 19′ 8″ | — 1′ 44″ | 67° 24′ 45″ | + 1′ 15″ |
| Aug. 12. | 67° 22′ 13″ | + 2′ 36″ | 67° 18′ 54″ | + 0′ 53″ | 67° 20′ 36″ | — 0′ 16″ | | |
| | 67° 23′ 29″ | + 2′ 52″ | 67° 17′ 56″ | — 0′ 5″ | 67° 21′ 8″ | + 0′ 16″ | | |
| | 67° 17′ 39″ | — 2′ 58″ | 67° 17′ 39″ | — 0′ 22″ | 67° 23′ 20″ | + 2′ 28″ | | |
| | 67° 23′ 46″ | + 3′ 9″ | 67° 19′ 0″ | + 0′ 59″ | 67° 22′ 7″ | + 1′ 15″ | | |

Es ergeben sich hieraus für die verschiedenen Tageszeiten, an welchen die Beobachtungen gemacht wurden, folgende Mittelwerthe:

$1^h$ . . . . 67° 20′ 37″
$7^h$ . . . . 67° 18′ 1″
$13^h$ . . . . 67° 20′ 52″
$19^h$ . . . . 67° 19′ 21″

und also im Mittel für

1852 Aug. 7 . . 67° 19′ 43″.

Nimmt man die angeführten Mittelwerthe für die vier Tageszeiten, für welche sie gelten, als die wahren Werthe an, so lässt sich aus den Differenzen der einzelnen Beobachtungswerthe die Unsicherheit bestimmen, womit die aus einer Beobachtungsreihe abgeleitete Inklination behaftet ist, nämlich

für $1^h$ mit $\pm$ 1′ 48″
„ $7^h$ „ $\pm$ 2′ 7″
„ $13^h$ „ $\pm$ 2′ 36″
„ $19^h$ „ $\pm$ 3′ 12″.

Diese Unsicherheit entspringt aus zwei ganz verschiedenen Quellen, nämlich *erstens* aus den wirklich vorhandenen täglichen Schwankungen der Inklination, welche zu derselben Stunde an auf einander folgenden Tagen oft um mehrere Minuten verschieden ist, *zweitens* aus den Beobachtungsfehlern. Sucht man den Mittelwerth jener täglichen Schwankungen, welche auch bei der Deklination Statt finden, aus den Beobachtungen zu bestimmen und ihren Einfluss zu beseitigen, so erhält man den Mittelwerth des Bruches, welcher die *Tangente der Inklination* ausdrückt, in folgender Form:

$$\frac{6887{,}86 \pm 9}{2877{,}18 \pm 4},$$

woraus sich der mittlere Beobachtungsfehler der Inklination = 2′ 20″ ergiebt, und zugleich erhellt, dass wenn der Fehler des Nenners dieses Bruches sehr verkleinert oder ganz beseitigt werden könnte, der mittlere Fehler einer solchen Inklinationsmessung sich auf 1′ 36″ reduciren würde, was auf folgende Weise erreicht werden zu können scheint.

Der wenig veränderliche Nenner jenes Bruches kann nämlich als die Summe eines konstanten Theiles und einer durch gleichzeitige Beobachtungen am *Bifilarmagnetometer* genau bekannten Variation dargestellt werden, wovon der konstante Theil aus einer grösseren Anzahl dazu besonders gemachter Beobachtungen mit grosser Genauigkeit im voraus bestimmt werden kann. Dies vorausgesetzt bedarf es zu einer Inklinationsbestimmung für irgend eine Zeit nur einer einzigen zu dieser Zeit gemachten Beobachtungsreihe, durch welche der Zähler jenes

Bruches bestimmt wird, nebst einer gleichzeitig gemachten Beobachtung am Bifilarmagnetometer. Eine solche zu einer Inklinationsmessung genügende Beobachtungsreihe wird in 5 Minuten ausgeführt und die daraus erhaltene Inklination ist dann nur mit einer etwa 1′ 36″ betragenden Unsicherheit behaftet. Vier Beobachtungsreihen, welche wie in Tafel V *B, C, D, E* in 50 Minuten gemacht werden können, geben dann zusammen eine Inklinationsbestimmung, welche blos etwa auf 48″ unsicher ist. Zugleich wird auf diese Weise der Vortheil erlangt, dass der Induktor, nachdem der konstante Theil des Nenners ein für allemal genau bestimmt worden ist, seine Stellung mit horizontaler Drehungsaxe immer unverändert beibehält, was eine vollkommenere und festere Einrichtung gestattet, wie wenn der Apparat immer verstellbar bleiben muss.

Es kommen dabei jedoch noch die Aenderungen des *Widerstandes* in Betracht, welche der Kupferdraht des Induktors und Multiplikators bei *veränderlicher Temperatur* erleidet. Diese Aenderungen sind aber mit Variationen des *logarithmischen Dekrements* verbunden, und es lassen sich aus einer Reihe genauer Bestimmungen des logarithmischen Dekrements bei verschiedenen Temperaturen Regeln nicht blos zur Bestimmung des Einflusses der Temperatur auf die Grösse des logarithmischen Dekrements selbst, sondern auch auf die Grösse des Widerstandes ableiten. Nur bedarf es dazu genauerer Bestimmungen des logarithmischen Dekrements, als nach der S. 286 angegebenen Regel erhalten werden, wobei nur *zwei* beobachtete Elongationsweiten benutzt wurden. Man übersieht aber leicht, dass diese in vielen Beziehungen wichtige Bestimmung des logarithmischen Dekrements eine viel grössere Präcision erlangen kann, wenn dabei eine grössere Anzahl der beobachteten Elongationsweiten zu Hülfe genommen wird, wozu als Beispiel die Tafel II *B, C, D, E* angeführten Reihen dienen mögen.

Man beginne nämlich damit, den Ruhestand der Nadel für die Zeit aller einzelnen Beobachtungen genau zu bestimmen, indem man die beobachtete Elongation $x_n$ der vorhergegangenen Elongation $x_{n-1}$ um

$$\frac{1-\vartheta^n}{2-\vartheta^{n-1}-\vartheta^n}\cdot(x_n - x_{n-1})$$

nähert, wobei es genügt, für $\vartheta$ einen Näherungswerth zu gebrauchen, z. B. den S. 286 angegebenen, wonach $\log(1/\vartheta) = 0{,}075$, also $\log\vartheta = 9{,}925$ war. Hiernach sind die in folgender Taf. VII angeführten Ruhestände erhalten und mit ihrer Hülfe die entsprechenden Elongationsweiten $x_1, x_2, x_3 \ldots$ genauer bestimmt worden, welche in der letzten Kolumne so angeführt sind, wie sie erhalten werden, wenn man die S. 286 angegebene Reduktion berücksichtigt.

Tafel VII.

| | Ruhestände. | | | | Elongationsweiten. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | *B* | *C* | *D* | *E* | *B* | *C* | *D* | *E* |
| 1. | 1235,1 | 1234,4 | 1233,8 | 1233,7 | $x_1 = 100,1$ | 100,5 | 101,1 | 100,1 |
| 2. | 1235,8 | 1235,3 | 1235,0 | 1233,9 | $x_2 = 183,0$ | 183,2 | 183,9 | 183,7 |
| 3. | 1235,6 | 1235,0 | 1234,3 | 1233,3 | $x_3 = 252,9$ | 252,9 | 253,3 | 253,3 |
| 4. | 1235,5 | 1234,7 | 1234,1 | 1233,2 | $x_4 = 311,9$ | 312,0 | 312,4 | 312,3 |
| 5. | 1234,9 | 1234,8 | 1234,0 | 1233,1 | $x_5 = 360,7$ | 361,5 | 361,9 | 361,6 |
| 6. | 1234,9 | 1234,6 | 1233,9 | 1232,9 | $x_6 = 402,8$ | 403,2 | 403,5 | 403,3 |
| 7. | 1234,8 | 1234,5 | 1233,6 | 1232,6 | $x_7 = 437,7$ | 438,0 | 438,1 | 437,9 |
| 8. | 1234,6 | 1234,2 | 1233,2 | 1232,2 | $x_8 = 467,0$ | 467,5 | 467,6 | 467,5 |
| 9. | 1234,3 | 1233,9 | 1232,9 | 1231,9 | $x_9 = 491,4$ | 491,9 | 492,0 | 491,9 |
| 10. | 1233,9 | 1233,5 | 1232,5 | 1231,6 | $x_{10} = 512,5$ | 513,0 | 513,1 | 512,9 |
| 11. | 1234,0 | 1233,7 | 1232,6 | 1231,8 | $x_{11} = 529,9$ | 530,4 | 530,5 | 530,4 |
| 12. | 1233,5 | 1233,5 | 1232,5 | 1231,6 | $x_{12} = 545,0$ | 545,3 | 545,3 | 545,3 |
| 13. | 1233,6 | 1233,4 | 1232,5 | 1231,8 | $x_{13} = 557,3$ | 557,5 | 557,6 | 557,6 |
| 14. | 1233,5 | 1233,3 | 1232,5 | 1231,7 | $x_{14} = 567,7$ | 567,9 | 567,9 | 567,9 |
| 15. | 1233,6 | 1233,3 | 1232,6 | 1231,9 | $x_{15} = 576,4$ | 576,6 | 576,6 | 576,7 |
| 16. | 1233,4 | 1233,3 | 1232,3 | 1231,7 | $x_{16} = 583,9$ | 583,9 | 584,1 | 584,1 |

Aus diesen Elongationsweiten ergeben sich nun unmittelbar nach der S. 286 angeführten Formel $\frac{1}{n}\log\frac{x_n}{x_{2n}-x_n}$ für jede Reihe 8 Werthe des logarithmischen Dekrements, nämlich

| | *B* | *C* | *D* | *E* |
|---|---|---|---|---|
| $n = 1$ | 0,08188 | 0,08466 | 0,08672 | 0,07822 |
| $n = 2$ | 0,07610 | 0,07650 | 0,07784 | 0,07743 |
| $n = 3$ | 0,07572 | 0,07533 | 0,07566 | 0,07585 |
| $n = 4$ | 0,07585 | 0,07560 | 0,07595 | 0,07592 |
| $n = 5$ | 0,07518 | 0,07554 | 0,07581 | 0,07568 |
| $n = 6$ | 0,07536 | 0,07549 | 0,07569 | 0,07556 |
| $n = 7$ | 0,07532 | 0,07541 | 0,07547 | 0,07535 |
| $n = 8$ | 0,07519 | 0,07548 | 0,07544 | 0,07538 |

Aus diesen verschiedenen Bestimmungen erhält man, mit Rücksicht auf das verschiedene Gewicht, welches ihnen zukommt, den Mittelwerth des logarithmischen Dekrements nach folgender Formel:

$$= \sum \frac{\frac{1-2\vartheta^n+\vartheta^{2n}}{2+2\vartheta^n+\vartheta^{2n}}\cdot n\vartheta^{2n}}{\sum\frac{1-2\vartheta^n+\vartheta^{2n}}{2+2\vartheta^n+\vartheta^{2n}}\cdot n^2\vartheta^{2n}}\cdot\log\frac{x_n}{x_{2n}-x_n}\,.$$

Für $n$ unter dem Summationszeichen sind alle ganzen Zahlen von 1 bis 8 zu setzen. Für $\vartheta$ genügt immer derselbe Näherungswerth, nämlich

$\log\vartheta = 9{,}925$, womit zur Abkürzung der Rechnung folgende Tafel gebildet wird.

| $n$ | $\log \dfrac{\dfrac{1-2\vartheta^n+\vartheta^{2n}}{2+2\vartheta^n+\vartheta^{2n}} \cdot n\vartheta^{2n}}{\sum \dfrac{1-2\vartheta^n+\vartheta^{2n}}{2+2\vartheta^n+\vartheta^{2n}} \cdot n^2\vartheta^{2n}}$ |
|---|---|
| 1 | 7,084 |
| 2 | 7,815 |
| 3 | 8,167 |
| 4 | 8,362 |
| 5 | 8,469 |
| 6 | 8,521 |
| 7 | 8,534 |
| 8 | 8,519 |

Hiernach ergiebt sich der genauere Werth des logarithmischen Dekrementes

für $B$ . . . 0,07536
„ $C$ . . . 0,07552
„ $D$ . . . 0,07564
„ $E$ . . . 0,07558.

Die kleinen Differenzen, welche zwischen diesen aus den einzelnen Beobachtungsreihen berechneten Werthen Statt finden, können als ein Zeugniss der Genauigkeit betrachtet werden, welche dem aus allen vier Reihen abgeleiteten Mittelwerthe des logarithmischen Dekrements

$$= 0{,}07552$$

zukommt. Berechnet man die beobachteten Elongationsweiten Tafel VII nach der Methode der kleinsten Quadrate, so erhält man für die Reihen $B$, $C$, $D$, $E$

$$x_n = 622{,}388\ (1 - 0{,}840633^n)$$
$$x_n = 622{,}249\ (1 - 0{,}840289^n)$$
$$x_n = 621{,}846\ (1 - 0{,}839894^n)$$
$$x_n = 622{,}147\ (1 - 0{,}840167^n),$$

folglich den Werth des logarithmischen Dekrements

für $B$ . . . 0,07539
„ $C$ . . . 0,07557
„ $D$ . . . 0,07577
„ $E$ . . . 0,07563,

wovon das Mittel nur um 7 Einheiten in der letzten Decimale von dem oben gefundenen abweicht. Berechnet man nach diesen Formeln die Werthe aller einzelnen Elongationsweiten und zieht dieselben von den

beobachteten Werthen Tafel VII ab, so erhält man folgende Tafel von Differenzen, welche als Beobachtungsfehler zu betrachten sind.

| *B* | *C* | *D* | *E* |
|---|---|---|---|
| + 0,9 | + 1,1 | + 1,5 | + 0,7 |
| + 0,4 | + 0,3 | + 0,7 | + 0,7 |
| + 0,2 | — 0,1 | — 0,1 | + 0,1 |
| + 0,3 | 0,0 | 0,0 | + 0,1 |
| — 0,4 | — 0,1 | 0,0 | — 0,1 |
| 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 0,0 | — 0,2 | — 0,4 | — 0,4 |
| — 0,2 | — 0,1 | — 0,3 | — 0,2 |
| — 0,5 | — 0,4 | — 0,5 | — 0,5 |
| — 0,2 | 0,0 | — 0,1 | — 0,2 |
| — 0,3 | — 0,1 | — 0,1 | — 0,1 |
| + 0,1 | + 0,2 | + 0,1 | + 0,1 |
| + 0,1 | 0,0 | + 0,1 | — 0,5 |
| + 0,1 | + 0,1 | + 0,1 | + 0,1 |
| + 0,1 | + 0,1 | + 0,1 | + 0,2 |
| + 0,2 | + 0,1 | + 0,4 | + 0,3 |

Endlich möge das aus obigen Beobachtungen gefundene Resultat mit den Resultaten der vor 10 und vor 46 Jahren von Gauss und Humboldt in Göttingen ausgeführten Inklinationsmessungen verglichen werden, wozu es aber vorher noch einer kleinen Korrektion bedarf, welche daher rührt, dass die erdmagnetische Kraft am Orte des Induktors während der Beobachtungen mit einem geringen Lokaleinflusse behaftet war, der von der *Magnetometernadel* ausging. Bei der Beschränktheit des Raumes nämlich, wo die Beobachtungen gemacht wurden, konnte der Multiplikator mit der Magnetometernadel von dem Orte des Induktors nicht so weit entfernt werden, als zur Beseitigung dieses Einflusses nöthig gewesen wäre; es liessen sich aber alle Elemente zur Ermittelung dieses Einflusses leicht bestimmen, wobei auch die kleine Verrückung des Induktors, wenn seine Drehungsaxe bald horizontal bald vertikal gestellt wurde, berücksichtigt worden ist. Es betrug nämlich

1. bei *horizontaler* Stellung der Drehungsaxe der Abstand von der Mitte des Induktors bis zur Mitte der Magnetometernadel

3618 Millimeter senkrecht auf den magnetischen Meridian nach Westen,
666 Millimeter parallel dem magnetischen Meridian nach Süden,
590 Millimeter senkrecht nach oben;

2. bei *vertikaler* Stellung der Drehungsaxe waren dieselben Abstände

3618 Millimeter,
968 Millimeter,
293 Millimeter.

Fügt man hinzu, dass das magnetische Moment der Nadel nach absolutem Maasse (Millimeter, Milligramm und Sekunde zu Grundmaassen der Länge, Masse und Zeit genommen)

101 Millionen

betrug, und dass die magnetische Axe der Nadel im magnetischen Meridian horizontal gerichtet war, so lässt sich der von der Nadel an den angegebenen Orten ausgeübte Lokaleinfluss nach den von GAUSS in den „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1840“ S. 33[1]) angegebenen Regeln bestimmen und es ergiebt sich daraus, dass die Inklination ohne diesen Einfluss, statt 67° 19′ 43″, im Jahre

1852 Aug. 7. 67° 18′ 38″

gefunden worden sein würde.

Hiermit können nun die von GAUSS in den „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins“[2]) bestimmten Inklinationen, nämlich

1841 Oct. 8. 67° 42′ 43″
1842 Jun. 21. 67° 39′ 39″

verglichen werden, woraus sich die mittlere jährliche Abnahme für den zehnjährigen Zeitraum von 1842 bis 1852 ergiebt

$= 2' \, 9''.$

Dagegen hatte die schon von GAUSS gegebene Zusammenstellung der von HUMBOLDT und FORBES gemachten Messungen nämlich:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1805 | Dec. | 69° 29′ | HUMBOLDT |
| 1826 | Sept. | 68° 29′ 26″ | HUMBOLDT |
| 1837 | Juli 1. | 67° 47′ 0″ | FORBES |
| 1837 | Juli 1. | 67° 53′ 30″ | FORBES |

mit den seinigen die mittlere jährliche Abnahme der Inklination in Göttingen für den 36jährigen Zeitraum von 1806 bis 1842

$= 3' \, 2'' \, 3$

ergeben. Die jährliche Abnahme der Inklination in Göttingen ist also, übereinstimmend mit HANSTEEN's Untersuchungen über die Beobachtungen an anderen europäischen Orten, kleiner geworden. Bezeichnet man mit $t$ die Jahreszahl und mit $I$ die zugehörige Inklination, so kann man

$$I = 67^\circ 23' 43'' - 122'' 29 \, (t - 1850) + 1'' 337 \, (t - 1850)^2$$

setzen, woraus sich folgende Vergleichung beobachteter und berechneter Werthe ergiebt:

---

1) [GAUSS' Werke, Bd. V, p. 433.]
2) [Ebendaselbst, Bd. V, p. 488 und 490.]

| | beobachtet | berechnet | Unterschied |
|---|---|---|---|
| 1805 December | 69° 29′ | 69° 36′ 43″ | — 7′ 43″ |
| 1826 September | 68° 29′ 26″ | 68° 23′ 17″ | + 6′ 9″ |
| 1837 Juli 1 | 67° 47′ 0″ | 67° 52′ 41″ | — 5′ 41″ |
| 1837 Juli 1 | 67° 53′ 30″ | 67° 52′ 41″ | + 0′ 49″ |
| 1841 Oktober 8 | 67° 42′ 43″ | 67° 42′ 0″ | + 0′ 43″ |
| 1842 Juni 21 | 67° 39′ 39″ | 67° 40′ 18″ | — 0′ 39″ |
| 1852 August 7 | 67° 18′ 38″ | 67° 18′ 34″ | + 0′ 4″ |

Es wird hiernach die jährliche Abnahme der Inklination in Göttingen in 22 bis 23 Jahren um 1 Minute kleiner und beträgt etwa im Jahre

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1828 . . . 3 Minuten | | 1873 . . . 1 Minute | |
| 1850 . . . 2 „ | | 1895 . . . 0 „ | |

Es würde hiernach also zu erwarten sein, dass die Inklination in Göttingen bis zum Jahre 1895 abnehme, wo sie das Minimum von

66° 37′ 7″

erreiche, und dass sie von da an wieder zunehmen werde.

---

Die vorhergehende Untersuchung lehrt

1. dass die durch Vermittelung der Induktion mit dem Magnetometer gemachten Inklinationsbestimmungen an Präcision auch den durch die sorgfältigsten Beobachtungen mit den besten bisherigen Inklinatorien gewonnenen Resultaten nicht nachstehen;

2. dass dadurch eine grosse Erleichterung und Vereinfachung für die Ausführung der Messungen gewonnen wird;

3. endlich, dass durch Kombination einer grösseren Anzahl solcher zu allen Tages- und Nachtzeiten anstellbaren Beobachtungen die Bestimmung der Inklination von dem Einflusse der täglichen Variationen unabhängig erhalten werden kann, was für die Erforschung der Säkular-Variationen wichtig ist und mit den bisher gebrauchten Instrumenten nicht erreichbar war.

Es lässt sich hieraus die Anwendung ziehen, dass den bisherigen Inklinatorien ihre Vorzüge als transportable, und daher auf Reisen besonders brauchbare Instrumente, bleiben werden; dass aber in festen Observatorien, wo zu allen übrigen Messungen schon Magnetometer benutzt werden, die Vermittelung der Induktion zu *magnetometrischen Inklinationsbestimmungen* durch Vereinfachung der Arbeit und Gleichförmigkeit in der Behandlung aller drei Elemente des Erdmagnetismus grosse Vortheile bietet.

## II. *Ueber die aus der Anwendung der elektro-magnetischen und magnet-elektrischen Gesetze auf das Induktions-Magnetometer entspringenden Relationen.*

Die im vorigen Abschnitte erörterte Messung der Inklination kann zwar als eine sehr wichtige Anwendung des Induktions-Magnetometers betrachtet werden; es ist aber sein Gebrauch keineswegs darauf beschränkt. Eben so wichtig wie sein *magnetischer* Gebrauch ist nämlich auch sein *galvanischer;* nur bedarf letzterer einer näheren Entwickelung der aus der Anwendung der elektro-magnetischen und magnet-elektrischen Gesetze auf das Induktions-Magnetometer entspringenden Relationen. Bei obiger Inklinationsmessung sind nämlich blos die am Induktions-Magnetometer beobachteten *Elongationsweiten* betrachtet worden und es konnte daraus die Inklination bestimmt werden, ohne dass es nöthig war, die Verhältnisse näher zu erörtern, von denen jene Elongationsweiten abhängig waren. Diese Verhältnisse blieben nämlich bei den verschiedenen Beobachtungen unverändert und eliminirten sich bei ihrer Vergleichung. Bei anderen Anwendungen, namentlich den *galvanischen,* findet aber nicht dasselbe Statt und es wird alsdann eine genaue Erörterung jener Verhältnisse nothwendig, welche um so mehr hier einen Platz verdient, als sie auch auf obige Inklinationsmessung eine Anwendung gestattet; denn es leuchtet ein, dass für letztere die blosse Kenntniss des Resultates, die ohnedem gewonnen werden kann, nicht genügt, sondern dass auch Einsicht und Rechenschaft von allen einzelnen Momenten, von welchen die Genauigkeit und Sicherheit des Resultates abhängt, verlangt werden muss, wozu eine nähere Untersuchung jener Verhältnisse erforderlich ist.

Wir beginnen mit der Betrachtung einiger allgemeinen Verhältnisse, von denen die Möglichkeit genauer Messungen mit dem Induktions-Magnetometer abhängt. Diese beruht hauptsächlich auf Erfüllung zweier Bedingungen, nämlich 1. der Unveränderlichkeit der Kette während aller Beobachtungen, 2. der Grösse der Wirkung, welche der inducirende Erdmagnetismus bei *einfachem* Induktionsstosse hervorbringt.

Das hier betrachtete *Induktions-Magnetometer* unterscheidet sich von dem in den „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1837“[1]) beschriebenen *Induktions-Inklinatorium* wesentlich dadurch, dass Induktor und Multiplikator, welche dort in einem Ringe vereinigt waren, hier von einander getrennt sind und dass, statt dort eine *kontinuirliche* Drehung des vereinigten Induktors und Multiplikators um die von ihnen umschlossene Boussole Statt fand, hier blos eine *halbe Umdrehung* des Induktors nöthig ist, welche jedesmal dann,

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 75.]

wenn die im Multiplikator schwingende Nadel durch den magnetischen Meridian geht, erfolgt. Beide Instrumente kommen also darin überein, dass die *erste* Bedingung, die Unveränderlichkeit der Kette bei allen Beobachtungen, erfüllt ist, bei dem *Induktions-Inklinatorium* dadurch, dass die Drehung des Multiplikators den Dienst eines in die Kette eingeschalteten Kommutators vertritt; bei dem *Induktions-Magnetometer* dadurch, dass schon die von einem *einfachen* Induktionsstoss hervorgebrachte Elongation zu feinen Messungen genügt und daher keine Verstärkung durch schnelle Wiederholung der Induktionsstösse, zwischen denen sonst eine Kommutation Statt finden müsste, bedarf. Bei dem letzteren ist es also die Erfüllung der *zweiten* Bedingung, nämlich der Grösse der Wirkung, welche der inducirende Erdmagnetismus bei *einfachem* Induktionsstosse hervorbringt, wodurch zugleich auch der ersten, nämlich der Unveränderlichkeit der Kette, mitgenügt wird. Die Anwendung solcher *einfachen* Induktionsstösse, wenn sie für die Messung stark genug sind, gewährt ausserdem aber bei dem Induktions-Magnetometer noch den besonderen Nutzen, dass ihre Wirkung ein unmittelbares Maass des inducirenden Magnetismus giebt, *unabhängig von der Drehungsgeschwindigkeit des Induktors.*

Ausser dem Induktions-Inklinatorium und dem Induktions-Magnetometer ist noch eine *dritte* Einrichtung möglich, welche ich das *Induktions-Galvanometer* nennen will, die beiden vorzuziehen sein würde, wenn ihr gleiche Empfindlichkeit für *einfache* Induktionsstösse gegeben werden könnte, wie dem Induktions-Magnetometer, nämlich eine Einrichtung, bei welcher die Hülfe einer Magnetnadel und die mit ihrem Gebrauche verbundenen komplicirten Relationen ihrer Wechselwirkung mit dem Multiplikator ganz beseitigt werden können. Man könnte nämlich, statt den inducirten Strom vom Multiplikator auf eine Magnetnadel wirken zu lassen und die Ablenkung der letzteren zu beobachten, den Multiplikator selbst *bifilar* (auf ähnliche Weise wie beim Elektrodynamometer „Abhandlungen über elektro-dynamische Maassbestimmungen“. Leipzig 1852 I)[1]) an zwei Leitungsdrähten aufhängen, durch welche der inducirte Strom ein- und ausgeht, und *die dann vom Erdmagnetismus hervorgebrachte Drehung des Multiplikators* beobachten. Für dieses *Induktions-Galvanometer* sollen nun eben so wie für das Induktions-Magnetometer die aus den elektro-magnetischen und magnetelektrischen Gesetzen sich ergebenden Relationen entwickelt werden, woraus von selbst erhellen wird, warum das Induktions-Magnetometer den Vorzug verdient und das Induktions-Galvanometer nicht zur praktischen Anwendung bei Inklinationsmessungen gebracht werden könne.

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. III, Abhandlung V.]

Wir fassen von den Gesetzen des *Elektromagnetismus* und der *Magnetelektricität* dasjenige, was zu den folgenden Betrachtungen erforderlich ist, kurz zusammen 1. in dem Gesetze der *elektro-motorischen Kraft* eines Induktionsstosses; 2. in dem Gesetze der Drehungsgeschwindigkeit, welche einem Ringe, während der durch einen Induktionsstoss inducirte Strom hindurchgeht, von dem Erdmagnetismus ertheilt wird; 3. in dem Gesetze der Drehungsgeschwindigkeit, welche einer Magnetnadel vom Multiplikator, während der durch einen Induktionsstoss inducirte Strom durchgeht, ertheilt wird.

### 1. *Gesetz der elektro-motorischen Kraft eines Induktionsstosses.*

Die rechtwinklige Projektion jeder (als kreisförmig angenommenen) Umwindung des Induktors auf eine gegen die Richtung der erdmagnetischen Kraft senkrechte Ebene bildet eine geschlossene Linie und die Summe der von allen diesen Linien umschlossenen Flächenräume werde mit $S$ bezeichnet, wo $S$ in verschiedenen Augenblicken der Zeit $t$, während welcher der Induktor gedreht wird, verschiedene Werthe besitzt, also eine Funktion von $t$ ist. Die Werthe von $S$, welche dem Anfang und Ende eines Induktionsstosses entsprechen, sollen mit $S^0$ und $S'$ bezeichnet werden. Alsdann wird die elektro-motorische Kraft, welche von der erdmagnetischen Kraft $T$ am Ende des Zeitraumes $t$ auf den gedachten Induktor ausgeübt wird, durch

$$T \cdot \frac{dS}{dt}$$

dargestellt, und hieraus folgt das Gesetz der elektro-motorischen Kraft eines ganzen Induktionsstosses $E$

$$E = T\int\frac{dS}{dt}\,dt = T(S' - S^0).$$

Bilden nun alle Umwindungen des Induktors parallele Kreise, deren Mittelpunkte in einer auf die Kreisebene senkrechten geraden Linie liegen, welche die *Axe des Induktors* heisst, so leuchtet ein, dass die von der Projektion jeder Umwindung umschlossene Fläche ein Maximum oder Minimum ist, wenn das Perpendikel der Projektionsebene (d. i. die Richtung der erdmagnetischen Kraft) der *Axe des Induktors* parallel ist, und dass dieser Maximum- oder Minimumwerth $= \pm \pi r^2$ ist, wenn $r$ den Halbmesser der Umwindung bezeichnet. Wenn aber die Richtung der erdmagnetischen Kraft mit der Induktoraxe einen Winkel $= \varphi$ bildet, so ist die von der Projektion jeder Umwindung umschlossene Fläche $= \pi r^2 \cos\varphi$. Bezeichnet man daher die Werthe von $\varphi$ am Anfang und

Ende eines Induktionsstosses mit $\varphi^0$ und $\varphi'$, so erhält man für die elektro-motorische Kraft des ganzen Induktionsstosses

$$T(S' - S^0) = \pi T(\cos\varphi' - \cos\varphi^0) \cdot \Sigma r^2.$$

Nun wird aber die Induktoraxe bei jedem Induktionsstosse um 180° gedreht, woraus sich $\cos\varphi' = -\cos\varphi^0$ ergiebt, folglich

$$T(S' - S^0) = 2\pi T\cos\varphi' \cdot \Sigma r^2.$$

Zerlegt man die erdmagnetische Kraft $T$ in zwei Theile, nämlich nach der Richtung, welche die Induktoraxe am Ende des Induktionsstosses hat, und nach einer darauf senkrechten Richtung, und bezeichnet diese beiden Theile mit $T'$ und $T''$, so ist

$$T' = T\cos\varphi'$$
$$T'' = T\sin\varphi',$$

folglich

$$T(S' - S^0) = 2\pi T' \cdot \Sigma r^2,$$

wo $T'$ der *inducirende* Theil der erdmagnetischen Kraft heissen möge.

Nach dieser Bestimmung der elektro-motorischen Kraft eines Induktionsstosses und nach dem Ohm'schen Gesetze, lässt sich die Intensität des inducirten Stromes bestimmen; da nämlich die elektro-motorische Kraft $= T \cdot \frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t}$ ist, so wird die Stromintensität $i$, wenn der Widerstand durch $W$ bezeichnet wird, dargestellt durch

$$i = \frac{T}{W} \cdot \frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t},$$

folglich der Integralwerth des von einem Induktionsstosse hervorgebrachten Stromes durch

$$\int i\,\mathrm{d}t = \frac{T}{W} \cdot \int \frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t}\,\mathrm{d}t = \frac{T}{W} \cdot (S' - S^0) = \frac{2\pi T'}{W} \cdot \Sigma r^2.$$

2. *Gesetz der Drehungsgeschwindigkeit, welche einem Ringe, während der durch einen Induktionsstoss inducirte Strom hindurchgeht, von dem Erdmagnetismus ertheilt wird.*

Wird der um seinen vertikalen Durchmesser drehbare Ring, wie der Induktor, von parallelen Drahtwindungen gebildet, und haben diese Drahtwindungen im Augenblicke des Induktionsstosses eine dem magnetischen Meridiane parallele Lage, so übt der horizontale Theil der erdmagnetischen Kraft $= T_h$ auf den Ring ein Drehungsmoment aus, welches durch das Produkt dreier Faktoren

$$T_h \cdot s \cdot i$$

ausgedrückt wird, wo $i$ die Intensität des inducirten Stromes und $s$ die Summe der Flächen, welche die rechtwinklige Projektion jeder

Umwindung auf die Ebene des magnetischen Meridians umschliesst, bezeichnet. Der Quotient dieses Drehungsmomentes, mit dem Trägheitsmoment des Ringes $K$ dividirt, giebt die *Beschleunigung der Drehungsgeschwindigkeit*

$$= \frac{T_h \cdot si}{K},$$

woraus die durch den ganzen Induktionsstoss hervorgebrachte Aenderung der Drehungsgeschwindigkeit

$$= \frac{T_h s}{K} \cdot \int i \, dt$$

erhalten wird, wenn die Integration auf die ganze Dauer des Induktionsstosses erstreckt wird. Substituirt man hierin für $\int i\,dt$ den am Ende des vorigen Artikels gefundenen Werth, so ist die von einem Induktionsstosse hervorgebrachte Drehungsgeschwindigkeit des Ringes

$$\frac{T_h s}{K} \cdot \int i \, dt = \frac{2\pi T_h T' s}{KW} \cdot \Sigma r^2.$$

Setzt man hierin endlich

$$s = \pi \cdot \Sigma r'^2,$$

wo $r'$ den Halbmesser einer Windung des Ringes bezeichnet, so erhält man für die gesuchte Drehungsgeschwindigkeit folgenden Werth:

$$\frac{2\pi^2 T_h T'}{KW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \Sigma r'^2.$$

3. *Gesetz der Drehungsgeschwindigkeit, welche einer Magnetnadel vom Multiplikator ertheilt wird, während der durch einen Induktionsstoss inducirte Strom durch den Multiplikator geht.*

Wenn alle Umwindungen des Multiplikators parallele Kreise von einem gegen die Länge der Magnetnadel sehr grossen Halbmesser $= r''$ bilden, denen die magnetische Axe der Nadel parallel gerichtet ist, so übt jedes Längenelement $\alpha$ einer solchen Umwindung auf die Nadel, deren Mittelpunkt mit dem der Umwindung in einer auf die Ebene der letzteren senkrechten Linie liegt, während der Strom $i$ durchgeht, ein Drehungsmoment aus

$$= i \frac{\alpha M \cos \vartheta^3}{r''^2},$$

wo $M$ das magnetische Moment der Nadel und $\vartheta$ den Winkel bezeichnet, welchen die beiden Richtungen, von $\alpha$ nach den Mittelpunkten der

Windung und der Nadel, mit einander bilden. Hieraus folgt das von der ganzen Windung ausgeübte Drehungsmoment

$$= 2\pi i \cdot \frac{M \cos \vartheta^3}{r''}$$

und das vom ganzen Multiplikator

$$= 2\pi i \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''}.$$

Hierbei ist eine sehr kleine Nadel im Mittelpunkte des Multiplikators vorausgesetzt. Wird eine grössere Nadel angewendet, so muss für den Faktor $\Sigma M \cos \vartheta^3 / r''$ ein komplicirterer, von der Vertheilung des Magnetismus in der Nadel abhängiger, Ausdruck substituirt werden. Es ist jedoch nicht nöthig, diesen Ausdruck zu entwickeln, weil derselbe bei allen folgenden Anwendungen eliminirt wird.

Dieses Drehungsmoment, mit dem Trägheitsmoment der Nadel $k$ dividirt, giebt die *Beschleunigung der Drehungsgeschwindigkeit*

$$= \frac{2\pi i}{k} \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''},$$

woraus die vom ganzen Induktionsstoss hervorgebrachte *Aenderung der Drehungsgeschwindigkeit der Nadel*

$$= \frac{2\pi}{k} \cdot \int i \mathrm{d}t \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''},$$

oder weil $\int i \mathrm{d}t = \frac{2\pi T'}{W} \cdot \Sigma r^2$, nach Art. 1,

$$= \frac{4\pi^2 T'}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''}.$$

Durch die in diesem und im vorigen Artikel angeführten Gesetze ist die unmittelbare Wirkung eines Induktionsstosses auf den Galvanometerring und die Magnetometernadel bestimmt worden, welche in der Hervorbringung einer bestimmten *Drehungsgeschwindigkeit* besteht. Diese Drehungsgeschwindigkeit kann aber nicht unmittelbar beobachtet und gemessen werden, sondern nur der dadurch hervorgebrachte *Ausschlag* oder die *Elongationsweite*, d. i. der in Folge der ertheilten Drehungsgeschwindigkeit in der halben Schwingungsdauer zurückgelegte Bogen, nämlich bis zu dem Augenblicke, wo jene Drehungsgeschwindigkeit durch die fortwirkende Direktionskraft und Dämpfungskraft wieder aufgehoben worden ist. Um also die theoretische Betrachtung beider Instrumente mit den Beobachtungen zu verknüpfen, muss noch der Zusammenhang zwischen jener dem Ringe oder der Nadel ertheilten Drehungsgeschwindigkeit mit der darauf folgenden Elongationsweite entwickelt werden.

4. *Elongationsweite des Galvanometerringes in Folge der in der Ruhelage ihm ertheilten Drehungsgeschwindigkeit.*

Die allgemeine Gleichung für die Schwingungsbewegung unter dem Einfluss einer Direktionskraft $D$ hat die Form

$$o = \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{D}{K}(x - p),$$

wo $x$ den den Stand des schwingenden Körpers für die Zeit $t$ bezeichnenden Skalentheil, $p$ den dem Ruhestande entsprechenden Skalentheil und $K$ das Trägheitsmoment des schwingenden Körpers bedeuten. Diese allgemeine Gleichung findet nun bei einem bifilar aufgehangenen Galvanometerringe Anwendung, welcher nach Art. 2 durch einen Induktionsstoss eine bestimmte Drehungsgeschwindigkeit erhalten hat. Das vollständige Integral dieser Gleichung ist

$$x = p + A \sin \sqrt{\frac{D}{K}} \cdot (t - B),$$

wo $A$ und $B$ die beiden durch die Integration eingeführten arbiträren Konstanten bedeuten. Der Ring macht also periodische Oscillationen um den Punkt $p$, dabei ist die grösste Abweichung von der Mitte oder die halbe Amplitude konstant $= A$, und das Argument der periodischen Funktion schreitet mit der Geschwindigkeit $= \sqrt{D/K}$ fort; folglich ist die Zeit, in welcher es um $\pi$ fortschreitet, d. i. die Schwingungsdauer, $= \pi \sqrt{K/D}$. Bezeichnet man diese Schwingungsdauer mit $\tau$, so ist

$$x = p + A \sin \frac{\pi}{\tau}(t - B)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\pi}{\tau} A \cos \frac{\pi}{\tau}(t - B).$$

Der Augenblick, wo $x = p$ ist, d. i. wo der Stand des schwingenden Ringes mit dem Ruhestande zusammenfällt, wird hiernach durch die Gleichung $\sin \frac{\pi}{\tau}(t - B) = 0$ oder $\cos \frac{\pi}{\tau}(t - B) = \pm 1$ gefunden, woraus folgt, dass in diesem Augenblicke die Drehungsgeschwindigkeit

$$\frac{dx}{dt} = \pm \frac{\pi}{\tau} A$$

ist. Wenn also dem Ringe in dem Augenblicke, wo er in Ruhe und der Stand $x = p$ war, durch einen Induktionsstoss die Art. 2

bestimmte Drehungsgeschwindigkeit ertheilt worden ist; so wird für die darauf folgende Schwingungsbewegung

$$\frac{\pi}{\tau} A = 2\pi^2 \frac{T_h T'}{KW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \Sigma r'^2,$$

folglich

$$x = p + 2\pi\tau \frac{T_h T'}{KW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \Sigma r'^2 \cdot \sin\frac{\pi}{\tau}(t - B).$$

Die grösste Abweichung des Ringes von dem Ruhestande $p$, d. i. die gesuchte *Elongationsweite*, findet dann in demjenigen Augenblicke Statt, wo $\sin\frac{\pi}{\tau}(t - B) = \pm 1$, und wird hieraus gefunden

$$= 2\pi\tau \frac{T_h T'}{KW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \Sigma r'^2.$$

In diesem Ausdruck der *Elongationsweite* des durch einen Induktionsstoss in Schwingung gesetzten Ringes kann nun zunächst für $\tau$ folgende nähere Bestimmung gegeben werden. Es ist nämlich die aus der bifilaren Aufhängung eines Gewichtes $G$ (hier also des Ringes) entspringende Direktionskraft $D$, wie bekannt, durch die Formel gegeben

$$D = \frac{ff'G}{4h},$$

wo $f$ den Abstand der Aufhängungsdrähte bei den unteren, $f'$ bei den oberen Enden, $h$ die Höhe der oberen Befestigung über der unteren bedeutet (vergl. „Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1840“ S. 6).[1]) Nun war aber die Schwingungsdauer $\tau$ durch die Gleichung gegeben

$$\tau = \pi\sqrt{\frac{K}{D}},$$

folglich ist, wenn man für $D$ obigen Werth setzt,

$$\tau = 2\pi\sqrt{\frac{hK}{ff'G}},$$

also die *Elongationsweite*

$$= 4\pi^2 \frac{T_h T'}{W} \cdot \sqrt{\frac{h}{ff'GK}} \cdot \Sigma r^2 \cdot \Sigma r'^2.$$

Es geht hieraus hervor, dass die Elongationsweite bei demselben Drahte und gleichen Windungen desto grösser ist, je kleiner $G$ und $K$ sind. Es ist daher am günstigsten, wenn $G$ und $K$ blos aus dem Gewichte

[1]) [GAUSS' Werke, Bd. V, p. 409.]

und dem Trägheitsmomente jenes Drahtes bestehen, und jede Vergrösserung durch Rahmen, Spiegel u. s. w. möglichst vermieden wird. Ferner ist es günstig, wenn der Draht so gewunden wird, dass sämmtliche Kreise einer durch die Drehungsaxe gelegten Ebene möglichst nahe liegen und fast gleiche Halbmesser $r'$ haben. Bezeichnet $n'$ die Zahl der Umwindungen, so wird dann

$$\Sigma r'^2 = n' r'^2$$
$$G = 2 n' \pi g \varrho s' r'$$
$$K = n' \pi \varrho s' r'^3,$$

wo $g$ die Schwere, $\varrho$ die Dichtigkeit des Kupfers und $s'$ den Querschnitt des Drahtes bezeichnet. Der Ausdruck der *Elongationsweite* wird dann

$$= \frac{2\pi T_h T'}{\varrho s' W} \sqrt{\frac{2h}{ff'g}} \cdot \Sigma r^2.$$

Ferner kann der Widerstand $W$ nach den Ohm'schen Gesetzen näher bestimmt werden. Theilt man nämlich den Widerstand der ganzen Kette in 3 Theile, wovon $u$ dem Induktor, $v$ dem Ringe und $2\pi ac$ den beiden Aufhängungs- und übrigen Verbindungsdrähten angehört, und bezeichnet $c$ den specifischen Widerstand des Kupfers, so ist nach den Ohm'schen Gesetzen

$$u = \frac{2 n \pi r c}{s}, \quad v = \frac{2 n' \pi r' c}{s'},$$

wo $2 n \pi r$ die Länge und $s$ den Querschnitt des Induktordrahtes bezeichnet, folglich

$$W = 2\pi c \left(a + \frac{nr}{s} + \frac{n'r'}{s'}\right).$$

Durch diese Substitution erhält man die *Elongationsweite*

$$= \frac{T_h T' \cdot \Sigma r^2}{\varrho c} \sqrt{\frac{2h}{ff'g}} \cdot \frac{1}{s'\left(a + \frac{nr}{s} + \frac{n'r'}{s'}\right)}.$$

Für einen gegebenen *Induktordraht* hängt dieser Werth blos von der Grösse

$$s'\left(a + \frac{nr}{s}\right) + n'r'$$

ab, welche ein Minimum sein muss, wenn die *Elongationsweite* ein Maximum sein soll, woraus für eine gegebene Masse des Ringes (oder für einen gegebenen Werth von $n'r's'$) die Regel folgt

$$a + \frac{nr}{s} = \frac{n'r'}{s'},$$

d. h. der Widerstand des Ringdrahtes soll der Summe der Widerstände des Induktordrahtes, der beiden Aufhängungs- und übrigen Verbindungsdrähte gleich sein. Hiernach ist also bei einer für den Ring gegebenen Kupfermasse die Länge und Stärke des daraus zu bildenden Drahtes zu bestimmen.

Vorausgesetzt, dass diese Bedingung erfüllt sei, so ist die *Elongationsweite*

$$= \frac{T_h T' \cdot \Sigma r^2}{\varrho c s' \left(a + \frac{nr}{s}\right)} \cdot \sqrt{\frac{h}{2ff'g}},$$

oder wenn die gegebene Masse des Ringes mit $2\pi\varrho P'$ bezeichnet wird,

$$= \frac{T_h T' \cdot \Sigma r^2}{\varrho c} \cdot \sqrt{\frac{h}{2ff'g\left(a + \frac{nr}{s}\right)P'}}$$

woraus die Elongationsweite desto grösser erhalten wird, je kleiner die zum Ring verwandte Kupfermasse ist. Ist endlich diese Masse gegeben und daraus die Länge des Drahtes bestimmt worden, so ist es für die Elongationsweite gleichgültig, ob aus diesem Drahte eine grössere Zahl von kleineren Umwindungen oder eine kleinere Zahl von grösseren Umwindungen gebildet wird.

5. *Elongationsweite der Magnetometernadel in Folge der in der Ruhelage ihr ertheilten Drehungsgeschwindigkeit.*

Wenn eine in einem geschlossenen Multiplikator aufgehangene Magnetnadel schwingt, so werden nach magnet-elektrischem Gesetze in dem Multiplikator Ströme inducirt, welche eine der Bewegung in jedem Augenblicke entgegen wirkende Kraft auf die Nadel ausüben. Die allgemeine Gleichung der Schwingungsbewegung hat alsdann folgende Form

$$0 = \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{D}{k}(x - p) + \frac{\triangle}{k} \cdot \frac{dx}{dt},$$

wo $x$ den den Stand der Nadel für die Zeit $t$ bezeichnenden, $p$ den dem Ruhestand entsprechenden Skalentheil bedeuten, $D$ und $\triangle$ hingegen die magnetische Direktionskraft und jene retardirende Kraft, $k$ endlich das Trägheitsmoment der Nadel. Diese allgemeine Gleichung findet nun auch bei einer solchen Nadel Anwendung, welche sich im Ruhestande befunden hatte und nach Art. 3 durch einen Induktionsstoss die dort bestimmte Drehungsgeschwindigkeit erhalten hat. Das vollständige Integral dieser Gleichung ist

$$x = p + Ae^{-\frac{1}{2}\frac{\Delta}{k}t} \cdot \sin\sqrt{\frac{D}{k} - \frac{1}{4}\frac{\triangle^2}{k^2}}\,(t - B),$$

wo $e$ die Basis der natürlichen Logarithmen, $A$ und $B$ die beiden durch die Integration eingeführten arbiträren Konstanten bedeuten. Die Nadel macht also periodische Oscillationen um den Punkt $p$, wobei aber die Elongationsweite in geometrischer Progression abnimmt. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Argument der periodischen Funktion fortschreitet, ist $= \sqrt{\frac{D}{k} - \frac{1}{4}\frac{\triangle^2}{k^2}}$, folglich die Zeit, in welcher es um $\pi$ fortschreitet, d. i. die Schwingungsdauer $\tau$,

$$\tau = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{D}{k} - \frac{1}{4}\frac{\triangle^2}{k^2}}}.$$

Substituirt man diesen Werth und bezeichnet die der Schwingungsdauer entsprechende Abnahme des Exponenten der geometrischen Progression $= \triangle\tau/2k$ mit $\lambda$, so ist

$$x = p + Ae^{-\frac{\lambda}{\tau}t} \cdot \sin\frac{\pi}{\tau}(t - B)$$

$$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \frac{\pi}{\tau}Ae^{-\frac{\lambda}{\tau}t} \cdot \cos\frac{\pi}{\tau}(t - B) - \frac{\lambda}{\tau}Ae^{-\frac{\lambda}{\tau}t} \cdot \sin\frac{\pi}{\tau}(t - B).$$

Der Augenblick, wo $x = p$ ist, d. i. wo der Stand der schwingenden Nadel mit dem Ruhestande zusammen fällt, wird durch $\sin\frac{\pi}{\tau}(t - B) = 0$ oder $\cos\frac{\pi}{\tau}(t - B) = \pm 1$ bestimmt, woraus folgt, dass die Drehungsgeschwindigkeit $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ der Nadel in diesem Augenblicke, wenn $n$ die ganze Zahl der verflossenen Schwingungen bedeutet

$$= \pm\frac{\pi}{\tau}Ae^{-\frac{\lambda}{\tau}(n\tau + B)}$$

ist. Wenn also der Nadel in einem Augenblicke, wo sie beim Stande $x = p$ in Ruhe war, durch einen Induktionsstoss die Art. 3 bestimmte Drehungsgeschwindigkeit ertheilt worden ist, so ist für die von diesem Augenblicke an beginnende Schwingungsbewegung

$$\frac{\pi}{\tau}Ae^{-\frac{\lambda}{\tau}B} = \frac{4\pi^2 T'}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \Sigma\frac{M\cos\vartheta^3}{r''}$$

also

$$x = p + \frac{4\pi\tau T'}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \Sigma\frac{M\cos\vartheta^3}{r''} \cdot e^{-\frac{\lambda}{\tau}(t - B)} \cdot \sin\frac{\pi}{\tau}(t - B).$$

Die grösste Abweichung der Nadel von dem Ruhestande $p$, d. i. die gesuchte *Elongationsweite*, findet dann in demjenigen Augenblicke Statt, für welchen $t - B$ den kleinsten positiven Werth hat, bei welchem

$$e^{-\frac{\lambda}{\tau}(t-B)} \cdot \sin\frac{\pi}{\tau}(t-B) = \text{Maximum}$$

ist, nämlich $t - B = \frac{\tau}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}$; in diesem Augenblicke ist aber die *Elongationsweite*

$$= \frac{4\pi^2 e^{-\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arc\,tang}\frac{\pi}{\lambda}}}{\sqrt{\pi^2+\lambda^2}} \cdot \frac{\tau T'}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M\cos\vartheta^3}{r''}.$$

Wenn nun nach der Art. 3 gemachten Voraussetzung der Halbmesser aller Umwindungen des Multiplikators gegen die Länge der Nadel sehr gross ist und ausserdem alle Umwindungen so dicht neben einander liegen, dass der Werth von $r''$ für alle gleich und $\vartheta = 0$ angenommen werden darf; so ergiebt sich, dass $\frac{\pi e^{-\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arc\,tang}\frac{\pi}{\lambda}}}{\sqrt{\pi^2+\lambda^2}}$ wenig von 1 verschieden ist und $\sum \frac{M\cos\vartheta^3}{r''} = \frac{n''M}{r''}$ gesetzt werden kann, wo $n''$ die Zahl der Umwindungen des Multiplikators bedeutet. Man erhält dann, ebenso wie Art. 4, den Werth von

$$W = 2\pi c\left(a + \frac{nr}{s} + \frac{n''r''}{s''}\right),$$

wo $s''$ den Querschnitt des Multiplikatordrahtes bedeutet.

Durch Einsetzung dieser Werthe erhält man die *Elongationsweite*

$$= \frac{2n''\tau MT' \cdot \Sigma r^2}{ckr''\left(a + \frac{nr}{s} + \frac{n''r''}{s''}\right)}.$$

Für gegebene Nadel und Induktor hängt dann die Grösse der *Elongation* blos vom Werthe

$$\frac{r''}{n''}\left(a + \frac{nr}{s} + \frac{n''r''}{s''}\right)$$

ab, welcher ein Minimum sein muss, wenn die Elongationsweite ein Maximum sein soll, woraus für eine gegebene *Masse* des Drahtes (oder für einen gegebenen Werth von $n''r''s''$) die Regel folgt

$$\frac{n''r''}{s''} = a + \frac{nr}{s},$$

nach welcher die *Länge* des aus der gegebenen Masse zu bildenden Drahtes berechnet werden kann. Durch Erfüllung dieser Bedingung wird die *Elongationsweite*

$$= \frac{n''\tau MT' \cdot \Sigma r^2}{ckr''\left(a + \frac{nr}{s}\right)},$$

oder, wenn man die gegebene Masse des Multiplikatordrahtes mit $2\pi\varrho P''$ bezeichnet,

$$= \frac{\tau MT' \cdot \Sigma r^2}{ck \cdot r''^2} \cdot \sqrt{\frac{P''}{a + \frac{nr}{s}}},$$

d. h. die *Elongationsweite* ist der Quadratwurzel der Masse des Multiplikators direkt und dem Quadrate seines Halbmessers umgekehrt proportional.

6. *Bedingung, unter welcher die am Induktions-Galvanometer beobachtete Elongationsweite der am Induktions-Magnetometer beobachteten gleich ist.*

Die mit dem *Induktions-Galvanometer* beobachtete Elongationsweite wird nach Art. 4 ausgedrückt durch

$$\frac{T_h T' \cdot \Sigma r^2}{\varrho c} \cdot \sqrt{\frac{h}{2ff'g\left(a + \frac{nr}{s}\right)P'}},$$

die mit dem *Induktions-Magnetometer* dagegen nach Art. 5 durch

$$\frac{\tau MT' \cdot \Sigma r^2}{ck \cdot r''^2} \cdot \sqrt{\frac{P''}{a + \frac{nr}{s}}}.$$

Beide Ausdrücke haben den Faktor $\dfrac{T' \cdot \Sigma r^2}{c\sqrt{a + \frac{nr}{s}}}$ mit einander gemein, und es bleibt nach Weglassung dieses Faktors folgende Gleichung als Bedingung der Gleichheit beider Elongationsweiten übrig

$$\frac{T_h}{\varrho}\sqrt{\frac{h}{2ff''gP'}} = \frac{\tau M}{kr''^2}\sqrt{P''}.$$

Setzt man nun hierin die für das Induktions-Magnetometer, mit welchem die Beobachtungen im ersten Abschnitt gemacht wurden, geltenden Werthe, $\varrho = 8{,}8$, $\tau = 18$, $M = 101000000$, $k = 5968000000$, $P'' = 1488300$, $r'' = 230{,}8$ und ausserdem $T_h = 1{,}8$; so erhält man folgende Bedingung gleicher Elongationsweite

$$h = \frac{1}{860} \cdot 2ff'gP'.$$

Wenn nun auch zur bifilaren Suspension die feinsten Metalldrähte genommen werden, so wird doch wenigstens ein Gewicht von 100 Gramm erforderlich sein, um ihnen die für einen solchen Messapparat nothwendige Spannung zu geben, also ist in Milligrammen die Masse

$$2\pi\varrho P' = 100000.$$

Ferner kann man rechnen, dass die beiden Suspensionsdrähte wenigstens 5 Millimeter im Mittel von einander abstehen müssen, also

$$ff' = 25.$$

Da nun $\varrho = 8,8$ war und $g = 9811$, folglich $2ff'gP' = 887200000$, so ist die Bedingung gleicher Elongationsweite

$$h = 1032000.$$

Sollte also die am Induktions-Galvanometer beobachtete Elongationsweite der am Induktions-Magnetometer beobachteten gleich sein, so müsste die Höhe der oberen Enden der Aufhängungsdrähte über den unteren 1032 Meter betragen. Da nun eine so hohe Aufhängung nicht möglich ist, so ergiebt sich hieraus von selbst, dass das Induktions-Galvanometer für solche Messungen nicht geeignet ist und das Induktions-Magnetometer keineswegs zu ersetzen vermag, wie schon oben erwähnt worden ist.

### 7. *Logarithmisches Dekrement der schwingenden Magnetometernadel.*

Die Art. 5 betrachtete *Elongationsweite* der Magnetometernadel in Folge der durch einen Induktionsstoss in der Ruhelage ihr ertheilten Drehungsgeschwindigkeit ist aber nicht die einzige Grösse, welche aus den am *Induktions-Magnetometer* gemachten Beobachtungen bestimmt werden kann, sondern es kann aus den nämlichen Beobachtungen zugleich auch eine genaue Bestimmung des *logarithmischen Dekrements* für die Abnahme der Schwingungsbögen der schwingenden Magnetometernadel, oder eine Bestimmung der in jedem Augenblicke der Bewegung der Nadel entgegenwirkenden Dämpfungskraft, gewonnen werden, wie am Schlusse des ersten Abschnittes an den daselbst mitgetheilten Beobachtungen gezeigt worden ist. Diese Dämpfungskraft rührt aber von dem galvanischen Strome her, welcher in jedem Augenblicke von der schwingenden Nadel nach *magnet-elektrischem* Gesetze im geschlossenen Multiplikator inducirt wird, indem dieser Strom auf die Nadel nach *elektro-magnetischem* Gesetze zurückwirkt. Um also die theoretische Betrachtung des Induktions-Magnetometers auch mit diesem Beobachtungsresultate zu verknüpfen, muss noch die Formel für das logarithmische Dekrement der schwingenden Magnetometernadel aus dem eben erwähnten magnet-elektrischen und elektro-magnetischen Gesetze abgeleitet werden.

Bezeichnet nun $\gamma$ die Drehungsgeschwindigkeit der Nadel in irgend einem Augenblicke und haben $M$, $r''$ und $\vartheta$ die Art. 3 ihnen gegebene Bedeutung, so wird die *elektro-motorische Kraft,* welche die schwingende Nadel in diesem Augenblicke auf den Multiplikator ausübt, auf ähnliche Weise aus dem *magnet-elektrischen* Gesetze bestimmt, wie die elektromotorische Kraft, welche der Erdmagnetismus auf den in Drehung gesetzten Induktor ausübt, Artikel 1 erhalten worden war, und wird daraus gefunden

$$= -2\pi\gamma \sum \frac{M\cos\vartheta^3}{r''}.$$

Dividirt man diesen Ausdruck der elektro-motorischen Kraft mit dem Widerstande $W$, so erhält man nach dem Ohm'schen Gesetze den Ausdruck der Intensität $i$ des von der Nadel in diesem Augenblicke inducirten Stromes

$$i = \frac{2\pi\gamma}{W} \cdot \sum \frac{M\cos\vartheta^3}{r''}.$$

Dieser Strom übt nun rückwärts auf die schwingende Nadel wieder ein Drehungsmoment aus, welches schon Art. 3 aus dem *elektro-magnetischen* Gesetze abgeleitet worden ist, nämlich

$$= 2\pi i \cdot \sum \frac{M\cos\vartheta^3}{r''},$$

oder, wenn man für $i$ seinen Werth setzt,

$$= -4\pi^2 \frac{\gamma}{W} \cdot \left(\sum \frac{M\cos\vartheta^3}{r''}\right)^2.$$

Der Werth dieses Momentes für $\gamma = -1$ ist aber die Art. 5 mit $\triangle$ bezeichnete retardirende Kraft, wo

$$\frac{1}{2} \frac{\triangle}{k} \tau = \lambda$$

war, und wenn $m$ den Modulus des Logarithmensystems bezeichnet, $m\lambda$ das logarithmische Dekrement der schwingenden Magnetometernadel bedeutet, welches hierdurch bestimmt ist.

### 8. *Bestimmung der Inklination aus beobachteten Elongationsweiten des Induktions-Magnetometers.*

Stellt man *zuerst* die Drehungsaxe des Induktors so ein, dass die Drehung in vertikalem Kreise geschieht, und ist die auf die Richtung der Drehungsaxe stets perpendikuläre Axe des Induktors am Anfang und Ende jedes Induktionsstosses vertikal gerichtet, so bedeutet $T'$ Art. 5 die *vertikale* Komponente der erdmagnetischen Kraft, welche

mit $T_v$ bezeichnet werden soll, also $T' = T_v$. Bezeichnet nun ferner $\alpha$ die alsdann nach dem ersten Induktionsstosse beobachtete Elongationsweite, so ist nach Art. 5

$$\alpha = \frac{4\pi^2 e^{-\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}}}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}} \cdot \frac{\tau}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''} \cdot T_v.$$

Stellt man *sodann* die Drehungsaxe des Induktors so ein, dass die Drehung in horizontalem Kreise geschieht, und ist die auf der Richtung der Drehungsaxe stets perpendikulare Axe des Induktors am Anfang und Ende jedes Induktionsstosses horizontal und dem magnetischen Meridiane parallel gerichtet, so bedeutet $T'$ Art. 5 die *horizontale* Komponente der erdmagnetischen Kraft, welche mit $T_h$ bezeichnet wird, also $T' = T_h$. Bezeichnet nun ferner $\beta$ die alsdann nach dem ersten Induktionsstosse beobachtete Elongationsweite, so ist nach Art. 5

$$\beta = \frac{4\pi^2 e^{-\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}}}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}} \cdot \frac{\tau}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''} \cdot T_h.$$

Hieraus folgt $\alpha : \beta = T_v : T_h$, oder

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{T_v}{T_h} = \operatorname{tang} I,$$

wo $I$ die Inklination bedeutet, welche auf diese Weise aus zwei Elongationsbeobachtungen bestimmt wird, ohne besondere Erforschung der Verhältnisse, von welchen die Grösse jeder der beiden beobachteten Elongationen abhängt.

Wenn die durch den *ersten* Induktionsstoss in Schwingung gesetzte Nadel nach ihrer ersten Elongation $\alpha$ oder $\beta$ auf ihrem Rückwege die Ruhelage wieder passirt, so erfolgt der *zweite* Induktionsstoss, welcher der Nadel eine entgegengesetzt gleiche Drehungsgeschwindigkeit ertheilt, wie der erste, also nach Artikel 3

$$\text{für } T' = T_v \ldots -\frac{4\pi^2}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''} \cdot T_v,$$

$$\text{für } T' = T_h \ldots -\frac{4\pi^2}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''} \cdot T_h.$$

Fügt man hierzu die in Folge des ersten Induktionsstosses in diesem Augenblicke noch vorhandene Drehungsgeschwindigkeit hinzu, nämlich

$$\text{im ersten Falle} \ldots -\frac{4\pi^2 e^{-\lambda}}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''} \cdot T_v,$$

$$\text{im zweiten Falle} \ldots -\frac{4\pi^2 e^{-\lambda}}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''} \cdot T_h,$$

so kann man nach Art. 5 aus dieser neuen Drehungsgeschwindigkeit die auf den *zweiten* Induktionsstoss folgende Elongationsweite $\alpha'$ oder $\beta'$ ableiten, nämlich

$$\alpha' = -\alpha\,(1 + e^{-\lambda})$$
$$\beta' = -\beta\,(1 + e^{-\lambda})$$

u. s. f. und kann die beobachteten Werthe aller dieser Elongationsweiten $\alpha$, $\alpha'$, $\alpha''$ . . . $\beta$, $\beta'$, $\beta''$ . . . kombiniren, um aus allen zusammen die gesuchte Inklination mit grösserer Präcision zu bestimmen. Man erhält nämlich alsdann

$$\frac{\alpha - \alpha' + \alpha'' \ldots}{\beta - \beta' + \beta'' \ldots} = \frac{T_v}{T_h} = \operatorname{tang} I.$$

Nach dieser Formel ist die Inklination im ersten Abschnitte aus den daselbst mitgetheilten Beobachtungen der den 16 ersten Induktionsstössen entsprechenden Elongationsweiten berechnet worden.

### 9. *Magnetische und galvanische Messungen mit dem Induktions-Magnetometer nach absoluten Maassen.*

Die Tangente der Inklination ist darum einer so einfachen Bestimmung aus den Beobachtungen am Induktions-Magnetometer fähig, wie voriger Artikel zeigt, weil sie auf blosser relativer Messung beruht, nämlich auf blosser Vergleichung zweier Elongationen, wobei es gleichgültig ist, nach welchem Maasse diese Elongationen gemessen werden. Diese Einfachheit findet bei anderen *magnetischen* oder *galvanischen* Anwendungen jener Beobachtungen, wo eine Messung nach einem bestimmten absoluten Maasse gefordert wird, nicht Statt. So wie z. B. die *horizontale* Komponente der erdmagnetischen Kraft nach dem von Gauss festgestellten absoluten Maase mit dem Unifilar-Magnetometer gemessen werden kann, so könnte auch die *vertikale* Komponente nach demselben Maasse mit dem Induktions-Magnetometer unmittelbar gemessen werden, statt sie gewöhnlich mittelbar aus der horizontalen Komponente und aus der Inklination berechnet zu werden pflegt, und es würde dazu die im vorigen Artikel angeführte Gleichung für die Elongationsweite $\alpha$ gegeben sein, nämlich

$$\alpha = \frac{4\pi^2 e^{-\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arc\,tang}\frac{\pi}{\lambda}}}{\sqrt{\pi^2+\lambda^2}} \cdot \frac{\tau}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \Sigma \frac{M\cos\vartheta^3}{r''} \cdot T_v,$$

aus welcher die vertikale Komponente der erdmagnetischen Kraft

$$T_v = \frac{\sqrt{\pi^2+\lambda^2}}{4\pi^2 e^{-\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arc\,tang}\frac{\pi}{\lambda}}} \cdot \frac{kW\alpha}{\tau \cdot \Sigma r^2 \cdot \Sigma \frac{M\cos\vartheta^3}{r''}}$$

folgt, welche dadurch nach absolutem Maasse bestimmt wird, wenn alle übrigen Grössen nach absoluten Maassen bekannt sind. Es würde dazu aber einer vollständigen Kenntniss der Elemente des gebrauchten Induktions-Magnetometers, nämlich für den Induktor des Werthes der Summe $\Sigma r^2$, für die Magnetometernadel des Trägheitsmoments $k$, für Induktor und Multiplikator des Widerstandes $W$, für Magnetometernadel und Multiplikator der Summe $\sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''}$ bedürfen; ferner müsste aus den Beobachtungen am Induktions-Magnetometer selbst ausser der Elongationsweite $\alpha$ und der vom logarithmischen Dekrement abhängigen Grösse $\lambda$ die Schwingungsdauer $\tau$ bestimmt werden; endlich würde noch zu prüfen sein, ob jene Elemente des Instrumentes als konstant betrachtet werden dürften, und wenn dies nicht der Fall wäre, würde ihre Variabilität und die zu deren Berücksichtigung nothwendigen Hülfsbeobachtungen näher zu bestimmen sein. Für die *magnetischen* Anwendungen des Induktions-Magnetometers ist es daher sehr wichtig, dass *eine* Messung nach absolutem Maasse, nämlich die der *horizontalen* Komponente der erdmagnetischen Kraft mit dem Unifilar-Magnetometer, schon gegeben ist und dass es daher nur relativer Messungen oder Vergleichungen bedarf, um auch die *vertikale* Komponente auf dasselbe Maass zurückzuführen.

Anders verhält es sich dagegen mit den *galvanischen* Anwendungen des Induktions-Magnetometers, für die wenigstens *eine* Messung nach absolutem Maasse vollständig auszuführen nothwendig ist, z. B. die Messung des Widerstandes $W$, wozu die im vorigen Artikel angeführte Gleichung für die *Elongationsweite* $\beta$ gegeben ist, nämlich

$$\beta = \frac{4\pi^2 e^{-\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}}}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}} \cdot \frac{\tau}{kW} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''} \cdot T_h,$$

aus welcher der gesuchte Widerstand

$$W = \frac{4\pi^2 e^{-\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}}}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}} \cdot \frac{\tau}{k\beta} \cdot \Sigma r^2 \cdot \sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''} \cdot T_h$$

sich ergiebt. Es wird aber diese Messung wesentlich vereinfacht, wenn die Art. 7 angeführte Gleichung für das *logarithmische Dekrement* noch zu Hülfe genommen wird, wenn man beachtet, dass das logarithmische Dekrement mit gleicher Präcision aus den nämlichen Beobachtungen wie die Elongationsweite resultirt, nämlich die Gleichung

$$\lambda = 2\pi^2 \cdot \frac{\tau}{kW} \cdot \left(\sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''}\right)^2.$$

Aus der Verbindung dieser beiden Gleichungen ergiebt sich die dritte Gleichung

$$\frac{\beta^2}{\lambda} = \frac{8\pi^2 e^{-\frac{2\lambda}{\pi}\,\mathrm{arc\,tang}\,\frac{\pi}{\lambda}}}{\pi^2 + \lambda^2} \cdot \frac{\tau}{kW} \cdot (\Sigma r^2)^2 \cdot T_h^2$$

oder der gesuchte Widerstand

$$W = \frac{8\pi^2 e^{-\frac{2\lambda}{\pi}\,\mathrm{arc\,tang}\,\frac{\pi}{\lambda}}}{\pi^2 + \lambda^2} \cdot \frac{\lambda\tau}{k\beta^2} \cdot (\Sigma r^2)^2 \cdot T_h^2,$$

wo die Grösse $\sum \frac{M \cos \vartheta^3}{r''}$ eliminirt ist, deren Bestimmung nach absolutem Maasse die meisten Schwierigkeiten finden würde. Die Messung des Widerstandes $W$ ist hierdurch von der Messung folgender Grössen abhängig gemacht

$$\beta,\ \lambda,\ \tau,\ k,\ \Sigma r^2,\ T_h.$$

Hiervon werden ausser $\beta$ und $\lambda$ auch die Schwingungsdauer $\tau$ aus unmittelbaren Beobachtungen gefunden, ferner das Trägheitsmoment $k$ nach der von Gauss in der „Intensitas" gegebenen Vorschrift, $\Sigma r^2$ nach unmittelbarer Zählung und Abmessung der Windungen des Induktors, und endlich ist die horizontale Komponente der erdmagnetischen Kraft $T_h$ aus der mit dem Unifilar-Magnetometer ausgeführten Messung bekannt.

Durch diese *galvanische* Anwendung gewinnt das Induktions-Magnetometer für die Lehre vom *Galvanismus* eine eben so grosse Wichtigkeit, wie das Unifilar-Magnetometer für die Lehre vom *Magnetismus* durch seine Anwendung auf die magnetische Intensitätsmessung nach absolutem Maasse. Ist nämlich der *Widerstand* nach absolutem Maasse gemessen, so bedarf es zu den übrigen galvanischen Messungen nur relativer Bestimmungen, um sie ebenfalls auf absolutes Maass zurückzuführen. Dazu kommt, dass alle oben angeführten Messungen, aus denen das absolute Maass des Widerstandes resultirt, sich mit gleicher Einfachheit und Präcision ausführen lassen, wie die Messungen mit dem Unifilar-Magnetometer, aus welchen das absolute Maass des Erdmagnetismus resultirt.

Als Beispiel einer solchen mit dem Induktions-Magnetometer ausgeführten Widerstandsmessung kann die erste in dieser Abhandlung S. 284 Tafel I. mitgetheilte Beobachtungsreihe dienen. Die Summe der 16 ersten Elongationsweiten ist daraus S. 288

$$s = 2873{,}05$$

gefunden worden und das logarithmische Dekrement ergiebt sich, nach der S. 293 ff. gegebenen Vorschrift berechnet,

$$= \log \frac{1}{\vartheta} = 0{,}07625.$$

Hieraus folgt die erste Elongation

$$x_1 = \frac{(1 - \vartheta)^2 \cdot s}{16 - 17\vartheta + \vartheta^{17}} = 41{,}66$$

$$\beta = \frac{x_1}{2r} = \frac{41{,}66}{7370}$$

$$\lambda = \frac{1}{m} \log \frac{1}{\vartheta} = 0{,}17557,$$

wo $m$ den Modulus des Briggi'schen Logarithmensystems bedeutet. Dieser Werth von $\lambda$ besteht aber aus zwei Theilen, wovon der eine *durch Schliessung der Kette* hervorgebracht wurde, der andere auch bei *ungeschlossener Kette* vorhanden war. Der letztere Theil wurde auf bekannte Weise aus Beobachtungen über die Abnahme der Schwingungsbögen bei geöffneter Kette genau bestimmt und $= 0{,}00557$ gefunden.[1]) Der andere Theil möge mit $\lambda'$ bezeichnet werden, wo dann

$$\lambda' = 0{,}17000.$$

Hiernach ist zu setzen

$$W = \frac{8\pi^2}{\pi^2 + \lambda^2} \cdot e^{-\frac{2\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}} \cdot \frac{\lambda' \tau}{k\beta^2} (\Sigma r^2)^2 \cdot T_h^2.$$

Aus der Zählung und Abmessung der Umwindungen des Induktors hat sich ergeben

$$\pi \cdot \Sigma r^2 = 39216930 \text{ Quadratmillimeter.}$$

Ferner war die Schwingungsdauer der Magnetometernadel, welche an einem Drahte aufgehängt, dessen Torsionskraft $\vartheta$ zur magnetischen Direktionskraft $MT_h$ sich wie $1 : 88{,}64$ verhielt, unter dem Einfluss der Dämpfung

$$\tau = 17{,}9775^s.$$

Der horizontale Theil der erdmagnetischen Kraft war

$$T_h = 1{,}803.$$

Endlich wurde zur Bestimmung des Trägheitsmoments die Magnetometernadel mit zwei cylindrischen Gewichten, deren Masse 200276 Milligramm betrug und deren Durchmesser 18 Millimeter war, belastet; der Abstand der beiden Cylinderaxen von der Drehungsaxe der Magneto-

[1]) Die Beobachtungen ergaben nämlich

| No. | Schwingungsbogen |
|---|---|
| 0. | 765,03 |
| 21. | 678,16 |
| 47. | 585,51 |
| 74. | 504,59 |
| 109. | 415,55 |
| 143. | 344,73. |

meternadel war = 177,7 Millimeter. Das Trägheitsmoment der Magnetometernadel wurde hierdurch um

$$a = 6332284000$$

vergrössert und die Schwingungsdauer

$$\tau' = 26{,}13493^s$$

gefunden, während sie ohne Belastung

$$\tau'' = 18{,}05034^s$$

war. Hieraus ergiebt sich das Trägheitsmoment

$$k = \frac{a\tau''^2}{\tau'^2 - \tau''^2} = 5944882000.$$

Mit diesen Werthen findet man endlich

$$W = \frac{8\pi^2}{\pi^2 + \lambda^2} \cdot e^{-\frac{2\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}} \cdot \frac{\lambda\tau}{k\beta^2} \cdot (\Sigma r^2)^2 \cdot T_h{}^2 = 54876000000,$$

welches der Widerstand eines Kupferdrahtes, dessen Länge $L = 1057224$ Millimeter und dessen Masse $P = 40735500$ Milligramm war, nach absolutem Maasse ausgedrückt ist. Von dem nämlichen Kupfer würde ein Draht von 1 Millimeter Länge und 1 Milligramm Masse, nach den Ohm'schen Gesetzen, den Widerstand

$$= 1999900$$

besitzen, welcher der *specifische* Widerstand dieses Kupfers genannt wird. Das specifische Gewicht dieses Kupfers war bei 0° gegen Wasser bei 4°,1 = 8,796.

Es ist schon bekannt, dass sehr beträchtliche Verschiedenheiten im specifischen Widerstande des Kupfers vorkommen; dennoch ist es interessant, die hier erhaltene Bestimmung mit denjenigen zu vergleichen, welche ich im 82. Bande von Poggendorff's Annalen, S. 363[1]) zusammengestellt habe. Ich bezeichne die früher von mir gebrauchte Kupfersorte („Abhandlungen über Elektro-dynamische Maassbestimmungen", Leipzig 1852, II.)[2]) mit $A$, die jetzige mit $B$, die von Jacobi zu seinem Widerstands-Etalon und die von Kirchhoff zur Bestimmung der Induktions-Konstante gebrauchte mit $I$ und $K$; endlich mit $G$ galvanoplastisch niedergeschlagenes Kupfer.

| Kupfersorte | specifisches Gewicht | specifischer Widerstand |
|---|---|---|
| $G$ | 8,878 | 1684000 |
| $A$ | . . . | 1865600 |
| $K$ | . . . | 1916000 |
| $B$ | 8,796 | 1999900 |
| $I$ | 8,427 | 2310000. |

---

1) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. III, Abhandlung IX.]

2) [Ebendaselbst, Abhandlung X.]

10. *Inklinations-Bestimmungen aus gleichzeitigen Beobachtungen am Bifilar- und Induktions-Magnetometer.*

Wenn nun auch die Art. 8 erörterte Methode, die Inklination aus beobachteten Elongationsweiten des Induktions-Magnetometers zu bestimmen, im Allgemeinen als die einfachste und genaueste betrachtet werden kann, weil dabei das Resultat von der geringsten Zahl von Messungen, und zwar solchen Messungen, welche sich mit der grössten Präcision ausführen lassen, abhängt, so kann doch eine andere Methode, die praktisch im Allgemeinen an Einfachheit nachsteht, unter besonderen Verhältnissen den Vorzug verdienen. Ein solcher Fall tritt zum Beispiel dann ein, wenn das Induktions-Magnetometer nicht blos zu einmaliger Messung der Inklination, sondern zu einer längere Zeit fortgesetzten Reihe vieler Inklinationsmessungen gebraucht werden soll.

Es leuchtet nämlich ein, dass man unter diesen Verhältnissen sich zum Zwecke jeder einzelnen Inklinationsbestimmung auf die Messung der vertikalen Komponente der erdmagnetischen Kraft beschränken kann, weil die horizontale Komponente aus der nach der „Intensitas“ in absolutem Maasse ausgeführten Messung mit Zuziehung der am Bifilar-Magnetometer gemachten Variationsbeobachtungen für jeden Augenblick auf das Genaueste bekannt ist.

Bezeichnet man also mit $T_h^0$ die horizontale Komponente der erdmagnetischen Kraft, wie sie nach der „Intensitas“ für irgend einen Augenblick gefunden worden ist, und mit $n$ die am Bifilar-Magnetometer zu irgend einer anderen Zeit in Skalentheilen beobachtete Variation, so wird die horizontale Komponente der erdmagnetischen Kraft für die letztere Zeit dargestellt durch

$$T_h = T_h^0\,(1 + qn),$$

wo $q$ einen aus den Elementen des Bifilar-Magnetometers bekannten Faktor bedeutet. Alsdann kann die Inklination blos aus der am Induktions-Magnetometer beobachteten Elongationsweite $a$ und der am Bifilar-Magnetometer beobachteten Variation des horizontalen Theiles der erdmagnetischen Kraft, $= n$ Skalentheile, berechnet werden, vorausgesetzt, dass *kein Temperaturwechsel* Statt gefunden hat, und dass also die Dimensionen des Induktions-Magnetometers, ferner der Widerstand seines Induktors und Multiplikators und endlich der Magnetismus seiner Nadel als *konstant* betrachtet werden dürfen.

Es ergiebt sich nämlich nach dem vorigen Artikel für $a$ folgende Gleichung:

$$a^2 = \frac{8\pi^2}{\pi^2 + \lambda^2}\, e^{-\frac{2\lambda}{\pi}\operatorname{arc\,tang}\frac{\pi}{\lambda}} \cdot \frac{\lambda\tau}{kW} \cdot (\Sigma r^2)^2 \cdot T_v{}^2,$$

folglich

$$(\text{tang } i)^2 = \frac{T_v^{\,2}}{T_h^{\,2}} = \frac{1}{8}\left(1+\frac{\lambda^2}{\pi^2}\right)e^{\frac{2\lambda}{\pi}\text{ arc tang }\frac{\pi}{\lambda}} \cdot \frac{kW}{\lambda\tau}\cdot\frac{a^2}{(\Sigma r^2)^2}\cdot\frac{1}{T_h^{\,2}},$$

worin $k$, $W$ und $\Sigma r^2$ als konstant gegeben sind, ferner $\lambda$ und $\tau$ nur mit $T_h$ sich ändern, endlich die Aenderung von $T_h$ durch die Gleichung

$$T_h = T_h^0 (1 + qn)$$

gegeben ist. Bedeuten daher $\lambda^0$ und $\tau^0$ die Werthe von $\lambda$ und $\tau$ für $T_h = T_h^0$, so können $\lambda$ und $\tau$ unter folgende Form gebracht werden:

$$\lambda = \lambda^0 (1 + an)$$
$$\tau = \tau^0 (1 + bn).$$

Substituirt man diese Werthe in obiger Gleichung für die Tangente der Inklination, so erhält man

$$(\text{tang } i)^2 = \frac{1}{8}\left(1+\frac{\lambda^{0\,2}}{\pi^2}\right)e^{\frac{2\lambda^0}{\pi}\text{ arc tang }\frac{\pi}{\lambda^0}} \cdot \frac{kW}{\lambda^0\tau^0}\cdot\frac{a^2}{(\Sigma r^2)^2}\cdot\frac{1+\left(\frac{2a\lambda^0}{\pi}\text{ arc tg }\frac{\pi}{\lambda^0} - 2q - a - b\right)n}{T_h^{0\,2}},$$

oder, wenn $i^0$ die Inklination zu der Zeit bedeutet, wo die horizontale Komponente gemessen und $= T_h^0$ gefunden worden ist, und $a^0$ den Werth von $a$ für die nämliche Zeit,

$$\text{tang } i = \frac{a}{a^0}\text{ tang } i^0 \cdot \left(1+\left[\frac{a\lambda^0}{\pi}\text{ arc tang }\frac{\pi}{\lambda^0} - q - \frac{a+b}{2}\right]n\right).$$

Nun ist aber nach dem vorigen Artikel

$$\lambda = \frac{2\pi^2\tau}{kW}\cdot\left(\Sigma\frac{M\cos\vartheta^3}{r}\right)^2,$$

worin $2\pi^2 \dfrac{\left(\Sigma\frac{M\cos\vartheta^3}{r''}\right)^2}{kW} = \dfrac{\lambda^0}{\tau^0}$ konstant ist, folglich

$$\lambda = \lambda^0(1+an) = \frac{\lambda^0}{\tau^0}\tau = \lambda^0(1+bn),$$

woraus $a = b$ sich ergiebt. Ferner ist

$$\tau^2 = \frac{\pi^2 k}{MT_h} = \tau_0^{\,2}(1+2bn) = \tau_0^{\,2}(1-qn),$$

folglich $b = -\frac{1}{2}q$. Hiernach erhält man

$$\text{tang } i = \frac{a}{a^0}\text{ tang } i^0 \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\left[1 + \frac{\lambda^0}{\pi}\text{ arc tang }\frac{\pi}{\lambda^0}\right]qn\right).$$

Für den Fall endlich, wo ein erheblicher *Temperaturwechsel* Statt gefunden hat, leuchtet von selbst ein, dass die aus anderen Versuchen bekannten Regeln zur Bestimmung des Temperatureinflusses auf die

Dimensionen des Induktions-Magnetometers, ferner auf den Widerstand seines Induktors und Multiplikators und auf den Magnetismus seiner Nadel zu Hülfe genommen werden müssen. Bedeutet $t$ die Temperaturänderung in Graden und sind $k^0$, $W^0$, $\Sigma r^{02}$, $M^0$ und $r''^0$ die Werthe von $k$, $W$, $\Sigma r^2$, $M$ und $r''$ für $t = 0$; so ist nach diesen Regeln

$$\begin{aligned} k &= k^0 \quad . (1 + ct) \\ W &= W^0 \quad . (1 + dt) \\ \Sigma r^2 &= \Sigma r^{02} . (1 + ft) \\ M &= M^0 \quad . (1 + gt) \\ r'' &= r''^0 \quad . (1 + ht), \end{aligned}$$

wo die Koëfficienten $c$, $d$, $f$, $g$, $h$ aus anderen Versuchen bekannt sind. Ferner ist

$$\tau^0 = \pi \sqrt{\frac{k}{MT_h^0}} = \pi \sqrt{\frac{k^0}{M^0 T_h^0}} \cdot (1 + \tfrac{1}{2} [c - g] t),$$

oder, wenn $\pi \sqrt{\frac{k^0}{M^0 T_h^0}} = \tau^{00}$ gesetzt wird,

$$\tau^0 = (1 + \tfrac{1}{2} [c - g] t) \tau^{00}.$$

Ebenso findet man

$$\lambda^0 = \frac{2\pi^2\tau^0}{kW} \left( \Sigma \frac{M \cos \vartheta^3}{r''} \right)^2 = \frac{2\pi^2\tau^{00}}{k^0 W^0} \left( \Sigma \frac{M^0 \cos \vartheta^3}{r''^0} \right)^2 \cdot (1 - \tfrac{1}{2}[c + 2d - 3g + 4h] t),$$

oder, wenn $\frac{2\pi^2\tau^{00}}{k^0 W^0} \left( \Sigma \frac{M^0 \cos \vartheta^3}{r''^0} \right)^2 = \lambda^{00}$ gesetzt wird,

$$\lambda^0 = (1 - \tfrac{1}{2} [c + 2\mathrm{d} - 3g + 4h] t) \lambda^{00}.$$

Substituirt man diese Werthe von $k$, $W$, $\Sigma r^2$, $\tau^0$ und $\lambda^0$ in obiger Formel, so erhält man, wenn man zur Abkürzung

$$\zeta = \left(1 + \frac{\lambda^{00}}{\pi} \operatorname{arc tang} \frac{\pi}{\lambda^{00}}\right) q$$

$$\vartheta = c + 2\mathrm{d} - 2f - g + 2h - (c + 2\mathrm{d} - 3g + 4h) \frac{\lambda^{00}}{\pi} \operatorname{arc tang} \frac{\pi}{\lambda^{00}}$$

setzt, folgende Gleichung zur Bestimmung der Inklination aus den beiden gleichzeitigen Beobachtungen des Induktions-Magnetometers $a$ und des Bifilar-Magnetometers $n$ bei der Temperatur $t$, wenn alle konstanten Elemente $\lambda^{00}$, $\tau^{00}$, $k^0$, $W^0$, $\Sigma r^{02}$, $T_h^0$, $\zeta$ und $\vartheta$ im voraus genau bestimmt sind, nämlich:

$$(\operatorname{tg} i)^2 = \tfrac{1}{8} \left(1 + \frac{\lambda^{00 2}}{\pi^2}\right) e^{\frac{2\lambda^{00}}{\pi} \operatorname{arc tg} \frac{\pi}{\lambda^{00}}} \cdot \frac{k^0 W^0}{\lambda^{00} \tau^{00}} \cdot \frac{a^2}{(\Sigma r^{02})^2} \cdot \frac{1}{T_h^{02}} \cdot (1 - \zeta n + \vartheta t),$$

oder, wenn $i^0$ die Inklination zu der Zeit bedeutet, wo die horizontale Komponente gemessen und $= T_h^0$ gefunden worden ist, und $a^{00}$ den

Werth von $a$, welcher zu der nämlichen Zeit bei der Temperatur $t=0$ erhalten worden sein würde,

$$\operatorname{tang} i = \frac{a}{a^{00}} \operatorname{tang} i^0 \cdot (1 - \tfrac{1}{2}\zeta n + \tfrac{1}{2}\vartheta t).$$

### III. *Beschreibung des Induktions-Magnetometers.*

Die im ersten Abschnitte beschriebenen Beobachtungen sind mit einem Instrumente gemacht worden, welches auf der beigefügten Tafel [IX.] in verkleinertem Maassstabe abgebildet ist.

Fig. 1 A stellt den Induktor im Querschnitte dar. Der Umfang der Cylinderfläche, auf welche der Draht aufgewickelt ist, deren Durchmesser $aa = a'a'$ ist, betrug 718,3 Millimeter, und die Breite $aa' = 120{,}05$ Millimeter. Hierauf war ein mit Baumwolle umsponnener und mit Guttapercha überzogener Kupferdraht gewunden, von 542296 Millimeter Länge und 22435 Gramm Gewicht, wovon das Gewicht der Wolle und der Guttapercha nahe 2615 Gramm betrug; das Gewicht des Kupfers also 19820 Gramm. Ein 1 Millimeter langes Stück des Drahtes wiegt hiernach 36,55 Milligramm. Das specifische Gewicht des Kupfers (bei $0^0$ Temperatur) gegen Wasser (bei $4{,}1^0$ Temperatur) war 8,8178, der Querschnitt des Drahtes folglich im Mittel = 4,145 Quadratmillimeter. Dieser Draht bildete 605 Umwindungen in 18 Schichten über einander. Der Umfang einer die letzte Schicht umschliessenden Cylinderfläche war = 1078,6 Millimeter. Die Summe endlich der von den Projektionen aller dieser Windungen auf die Basis des Cylinders umschlossenen Kreisflächen war 39216930 Quadratmillimeter gross.

Diese Rolle war von einem starken hölzernen Rahmen *bbbb* fest umschlossen, an dessen Ende eine hölzerne Rolle *c* mit zwei kreisförmigen Rinnen sich befand, in welchen die beiden Verbindungsdrähte des Induktors mit dem Multiplikator lagen. An diesem Rahmen waren zwei starke Messingzapfen *d*, *d'* angebracht. Die beiden Zapfen waren genau cylindrisch und von gleichem Durchmesser und lagen auf *Y*förmigen Pfannen *e*, *e'*, welche an den Balken des Gestelles *B*, *B'* befestigt waren. Fig. 1 zeigt die Induktorrolle in der Stellung, wo sie um eine horizontale Axe gedreht werden kann. Zur Prüfung der Horizontalität der Drehungsaxe wurde eine Libelle *C* gebraucht, deren Fassung mit zwei *Y*förmigen Füssen versehen war, mit welchen sie auf die beiden Zapfen, welche die Drehungsaxe bildeten, aufgestellt werden konnte, wie es bei der Nivellirung eines Theodoliths geschieht. Am Ende des Zapfens *d'* befindet sich eine Messingkugel mit einer bei Abdrehung des Zapfens zugleich eingedrehten konischen Vertiefung bei *f*. Diese Kugel dient dazu, die Umstellung der Induktorrolle, durch welche ihre

Drehungsaxe aus der horizontalen in die vertikale Lage gebracht wird, bequem auszuführen. Wird nämlich die Libelle $C$ abgenommen, so kann die Induktorrolle $A$ beim Zapfen $d$ gehoben werden, und es senkt sich alsdann die Kugel am Zapfen $d'$ in eine kugelförmige Pfanne, welche bei $g$ im Balken $B'$ angebracht ist. Ist die Drehungsaxe auf diese Weise in die vertikale Stellung gebracht worden, wobei die Induktorrolle die in der Figur mit punktirten Linien angedeutete Stellung erhält, so legt sich der gehobene Zapfen $d$ in eine $Y$förmige Pfanne $h$, welche am Balken des Gestelles $D$ angebracht ist, und wird durch den Druck einer Feder, welcher durch eine Schraube regulirt wird, darin festgehalten. In dieser Lage greift nun eine Schraubenspitze in die konische Vertiefung der Kugel am Zapfen $d'$ ein, womit die Induktorrolle gehoben wird, so dass sie frei auf dieser Spitze zu stehen kommt. Es ist nämlich der Balken $B'$ vertikal durchbohrt und der Kopf der Schraube befindet sich bei $k$ unter dem Balken, wo die Schraube gedreht werden kann. Darauf wird auf den Zapfen $d$ der Libellen-Träger $ll$ gestellt, auf welchen die Libelle gestellt werden kann, um die Vertikalität der Drehungsaxe zu prüfen.

Fig. 2 stellt die Induktorrolle in horizontaler Lage von oben gesehen dar. Die Induktoraxe (siehe S. 282 f.) steht auf der Ebene der Figur senkrecht. Senkrecht gegen den Rahmen, an welchem die Zapfen $d, d'$ sich befinden, ist ein zweiter Rahmen $mm$ um die Induktorrolle gelegt, welcher bei $n, n$ zwei starke Messingstifte trägt, welche bei der Drehung der Induktorrolle auf feste an den Balken des Gestelles angebrachte Schrauben schlagen, und dadurch die Induktoraxe am Ende jedes Induktionsstosses in vertikaler Lage festhalten. Der eine dieser beiden Stifte, welcher sich bei dieser Drehung im oberen Halbkreise bewegt, schlägt an diese Schrauben von oben an, der andere, welcher sich im unteren Halbkreise bewegt, von unten. Diese Schrauben können in vertikaler Richtung etwas verstellt und nach berichtigter Stellung festgeklemmt werden. Die richtige Stellung dieser Schrauben wird dadurch gefunden, dass man einen solchen Bogen sucht, um welchen die Induktorrolle gedreht werden muss, damit die dadurch inducirten Ströme sich aufheben. Die Stellung der Induktorrolle, welche der Mitte dieses Bogens entspricht, ist die Stellung, bei welcher die Messingstifte an ihre Unterlage schlagen sollen. Die beiden Enden des Induktordrahtes sind von der Induktorrolle zu den Klemmen $p, p$ geführt und daselbst befestigt. Von diesen Klemmen gehen die Verbindungsdrähte über die Rolle $c$ zu dem Multiplikator.

Fig. 3 stellt die Multiplikatorrolle nebst Magnetnadel im Querschnitt dar. Der Umfang der Cylinderfläche, auf welche der Draht aufgewickelt ist, deren Durchmesser $aa = a'a'$ ist, betrug 1027,4 Milli-

meter, und die Breite $aa' = 225{,}6$ Millimeter. Hierauf waren neben einander zwei mit Baumwolle umsponnene und mit Guttapercha überzogene Kupferdrähte, jeder von 992 656 Millimeter Länge und beide zusammen von 80 642 Gramm Gewicht gewunden, wovon das Gewicht der Wolle und der Guttapercha nahe 9363 Gramm betrug; das Gewicht des Kupfers also 71 279 Gramm. Ein 1 Millimeter langes Stück jedes Drahtes wog also etwa 35,9 Milligramm. Das specifische Gewicht des Kupfers (bei 0° Temperatur) gegen Wasser (bei 4,1° Temperatur) war 8,7908, wonach der Querschnitt beider Drähte zusammen genommen $= 8{,}1682$ Quadratmillimeter war. Jeder von diesen beiden Drähten bildete 779 Umwindungen in 25 Schichten übereinander. Der Umfang einer die letzte Schicht umschliessenden Cylinderfläche war $= 1523{,}4$ Millimeter. Setzt man

$$1027{,}4 = 2\pi a'$$
$$1523{,}4 = 2\pi a''$$
$$225{,}6 = 2b',$$

so findet man

$$\frac{1}{a''-a}\log\text{nat}\,\frac{a''+\sqrt{a''^2+b'^2}}{a'+\sqrt{a'^2+b'^2}} = \frac{1}{230{,}8},$$

wo man den Nenner $= 230{,}8$ Millimeter den mittleren Halbmesser der Multiplikatorwindungen nennen kann (siehe „Abhandlungen über elektrodynamische Maassbestimmungen“ [Leipzig 1852] II. Art. 16 und Beilage *D.*).[1]

In der Mitte dieses Multiplikators hängt die Magnetnadel *NS* an einem prismatischen Stifte, welcher durch das Querstäbchen *bb* geschoben und darin festgeschraubt wird. Von den Enden dieses Querstäbchens, welche auf beiden Seiten der Multiplikatorrolle hervorragen, gehen zwei dünne Verbindungsstäbchen in die Höhe zu dem über dem Multiplikator an einem feinen Drahte hängenden Querstäbchen, an welchem Spiegel und Torsionskreis angebracht sind. Der vom Multiplikator umschlossene Raum, in welchem die Nadel schwebt, wird endlich von beiden Seiten mit Deckeln *cccc* verschlossen.

Fig. 4 stellt einen vertikalen Durchschnitt des Galvanometers in der Richtung des magnetischen Meridians dar. Ueber dem Multiplikator schwebt das Querstäbchen *d*, welches, wie das durch den Multiplikator gehende Querstäbchen *b*, senkrecht gegen die Ebene der Figur gerichtet ist. Beide sind durch dünne vertikale Stäbchen an ihren Enden vor und hinter dem Multiplikator verbunden. Mit dem Stäbchen *d* ist der Spiegel *e* durch einen *Y*förmigen Haken verbunden, und über dem Spiegel, ebenso verbunden, befindet sich der an einem dünnen Drahte

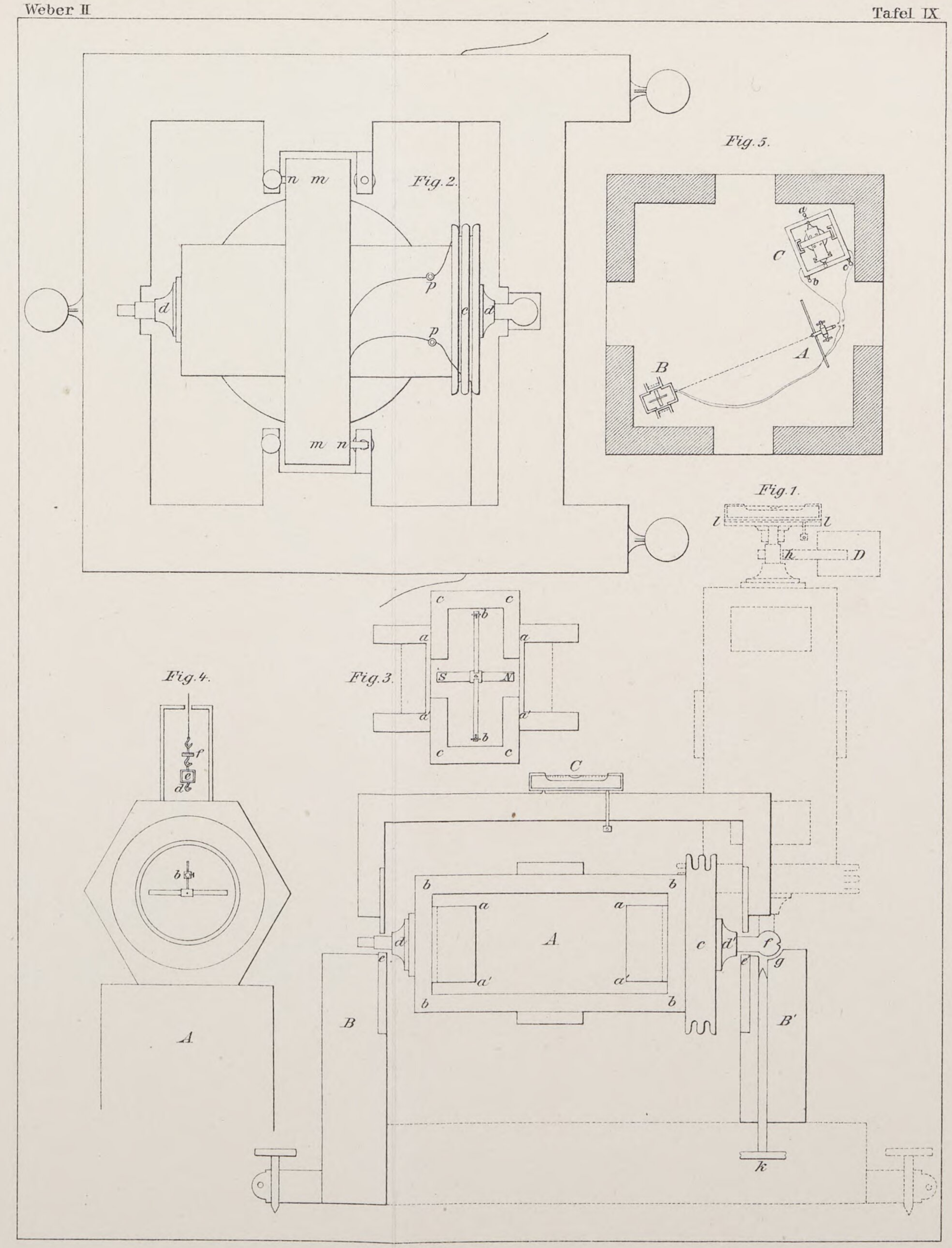
[1] [Wilhelm Weber's Werke, Bd. III, Abhandlung X.]

aufgehangene Torsionskreis *f*. Der Raum, in welchem *d, e, f* sich befinden, ist mit einem Gehäuse umgeben, welches nach vorn und hinten über den Multiplikator hervorragt und auf beiden Seiten bis zu den Deckeln *cccc*, Fig. 3, herabreicht, wodurch dieser mit dem vom Multiplikator umschlossenen zusammenhängende Raum bis auf die kleine Oeffnung, durch welche der dünne Draht geht, ganz verschlossen wird. In diesem Gehäuse ist in der vor dem Spiegel liegenden Wand ein paralleles Planglas zur Beobachtung des Skalenbildes im Spiegel mit dem Fernrohr eingesetzt. Der Multiplikatorrahmen endlich hat eine sechseckige Gestalt und steht mit der nach unten gekehrten Seite dieses Sechseckes auf einem steinernen Postamente *A*.

Fig. 5 stellt endlich Induktor, Galvanometer, nebst Fernrohr und Skale in ihrer gegenseitigen Lage im Grundriss dar. *A* bezeichnet das Fernrohr nebst Skale, *B* das Galvanometer, *C* den Induktor, welcher auf drei Schraubenfüssen *a, b, c* steht, die zur Berichtigung der beiden Stellungen der Drehungsaxe der Induktorrolle, nämlich der vertikalen und der horizontalen gebraucht werden.

Es würde endlich noch übrig bleiben, die Einrichtung zu beschreiben, welche getroffen war, damit der Beobachter am Fernrohr selbst während der Beobachtung die Drehung der Induktorrolle mit dem Fusse machen kann, sowohl die Drehung um die vertikale als auch um die horizontale Axe; ferner die Einrichtung, welche getroffen war, dass die beiden Verbindungsdrähte zwischen Induktor und Multiplikator am Fernrohrstatife unmittelbar vor dem Beobachter vorbeigingen, wo dann mit Hülfe einer Klemme diese beiden Verbindungsdrähte nach Belieben bald isolirt bald verbunden werden konnten, zu dem S. 283 angeführten Gebrauche. Da aber diese Einrichtungen nach Bequemlichkeit des Ortes und Gewohnheit des Beobachters mannigfaltig abgeändert werden können, so scheint eine specielle Beschreibung derselben nicht nöthig zu sein.

Statt dessen möge am Schlusse hier noch bemerkt werden, dass zu dem Zwecke der Inklinationsmessungen keineswegs ein Galvanometer mit so grossem Multiplikator wie der eben beschriebene, nothwendig ist. Die zu diesem Multiplikator verwendete Kupfermasse musste nur darum so gross sein, nämlich 80 Kilogramm, weil der mittlere Halbmesser der Windungen nicht unter 230 Millimeter betragen sollte. Diese grosse Weite des Multiplikators, sowie seine kreisförmige Gestalt, ist gar nicht der damit auszuführenden Inklinationsmessungen wegen gewählt, sondern deshalb, weil dasselbe Instrument zugleich zu einem festen und unveränderlich bleibenden Normalwiderstandsmesser für galvanische Ketten dienen sollte, gleichwie das in den „Abhandlungen


Fig. 2.
Fig. 5.
Fig. 1.
Fig. 3.
Fig. 4.

über elektro-dynamische Maassbestimmungen“ (Leipzig 1852) II.[1]) beschriebene Instrument, mit dem aber nur ein einziges Mal solche Widerstandsmessungen hatten ausgeführt werden können. Ein solcher fester zum Gebrauche stets fertiger Widerstandsmesser war ein wesentliches Bedürfniss für viele galvanische Untersuchungen geworden, und um demselben vollständig zu genügen erscheint die angegebene Grösse des mit dem Induktions-Inklinatorium verbundenen Multiplikators vollkommen gerechtfertigt.

Handelt es sich aber nicht um solche galvanische Zwecke, sondern blos um genaue und bequeme Messung der Inklination, so können alle Dimensionen des Multiplikators ohne Nachtheil wenigstens um die Hälfte verkleinert werden, wozu dann nur der 8. Theil des Drahtes (etwa 10 Kilogramm) erfordert werden. Die Genauigkeit der Inklinations-Messung würde dadurch sogar gewinnen; denn die zu beobachtende Ablenkung der Nadel würde dadurch im Verhältniss von 1 zu $\sqrt{2}$ vergrössert und könnte vielleicht mehr als verdoppelt werden, wenn man zugleich der kreisförmigen Gestalt des Multiplikators eine schickliche elliptische Gestalt substituirte, wobei die Nadelaxe die Richtung der grossen Axe der Ellipse erhielte. Sollte die Ablenkung der Nadel alsdann zu gross werden, um noch mit der Skale bequem gemessen werden zu können, so kann füglich auch zum Induktor blos die Hälfte des Drahtes (etwa gleichfalls 10 Kilogramm) genommen werden, wodurch bei gleichbleibender mittlerer Weite der Windungen die Intensität der inducirten Ströme halb so gross wird und daher trotz des stärkeren Multiplikators doch nur die nämliche oder eine nur wenig grössere Ablenkung der Nadel hervorbringt. Diese Verminderung der Masse des Induktors gewährt dabei den Vortheil, dass sich die Drehung der Induktorrolle noch leichter und bequemer ausführen lässt.

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. III, Abhandlung X.]

XXVII.

# Ueber die Anwendung der magnetischen Induktion zur Messung der Inklination mit dem Magnetometer.

[Anzeige in den Göttinger Nachrichten, 1853, No. 2, p. 17—24.]

---

Der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften legte Herr Professor WEBER am 1. Februar eine Abhandlung „*Ueber die Anwendung der magnetischen Induktion zur Messung der Inklination mit dem Magnetometer*" vor.

Es ist bekannt, dass die Beobachtungen des Erdmagnetismus durch die von Herrn Geh. Hofrath GAUSS in der Abhandlung „Intensitas" aufgestellten Messungsprincipien und durch die zu ihrer Durchführung in Anwendung gebrachten Magnetometer von blossen Vergleichungen zu wahren Maassbestimmungen erhoben worden sind und zugleich einen Grad von Präcision erlangt haben, welcher dem der astronomischen Beobachtungen kaum etwas nachgiebt. Das hierauf begründete, jetzt allgemein angenommene Messungssystem erstreckt sich unmittelbar nur auf die horizontalen Elemente des Erdmagnetismus, *Deklination* und *horizontale Intensität*, wobei das Magnetometer in seiner doppelten Form als *Unifilar-* und *Bifilar-Magnetometer* Anwendung findet. Die *Inklinationsbeobachtungen* werden dagegen noch immer nach derselben Methode und mit denselben Instrumenten wie früher ausgeführt; es würde aber grosse Vortheile gewähren, wenn auch diese Beobachtungen von dem magnetometrischen Messungssystem mit umfasst werden könnten, so dass alle Elemente des Erdmagnetismus mit gleichen Mitteln und mit gleicher Feinheit bestimmt würden.

Der Magnetismus der Erde wirkt nun nicht blos auf den *Magnetismus*, sondern auch auf die *Elektricität* anderer Körper und zwar auf doppelte Weise: nach *elektro-magnetischem* Gesetze wird nämlich ein beweglicher Multiplikator, durch welchen ein elektrischer Strom geht, von dem Erdmagnetismus eben so gedreht und gerichtet, wie eine Magnetnadel; nach *magnet-elektrischem* Gesetze dagegen wird in einem geschlossenen Multiplikator, wenn er gedreht wird, durch den Erdmagne-

tismus ein elektrischer Strom erzeugt oder *inducirt*. Leitet man diesen inducirten Strom von demjenigen Multiplikator, durch dessen Drehung er erzeugt wurde, und welcher der *Induktor* heisst, zu einem anderen feststehenden Multiplikator, in dessen Mitte eine Magnetnadel aufgehangen ist, so erfolgt eine Ablenkung der Magnetnadel. Der Erdmagnetismus wirkt also auf eine solche Nadel *erstens* unmittelbar, nach magnetischem Gesetze, *zweitens* mittelbar, durch den von ihm inducirten elektrischen Strom, und es leuchtet ein, dass beide Wirkungen zur Erforschung des Erdmagnetismus benutzt werden können. Ist nun die Nadel nach Art der Coulomb'schen Drehwaage an einem vertikalen Faden aufgehangen und daher nur um eine vertikale Axe drehbar, so ist die mit dieser Drehungsaxe parallele vertikale Komponente der erdmagnetischen Kraft bei der *unmittelbaren* Einwirkung auf die Nadel nothwendig wirkungslos, und die Beobachtungen der Nadel können nur zur Erforschung der horizontalen Komponente der erdmagnetischen Kraft, Deklination und horizontale Intensität, dienen, was aber bei der *mittelbaren* Einwirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel nicht der Fall ist. Daraus ergiebt sich also ein Vorzug der mittelbaren Wirkung vor der unmittelbaren darin, dass jene gestattet, durch Beobachtung einer nach Art der Coulomb'schen Drehwaage aufgehangenen Nadel nicht blos die horizontale, sondern auch die vertikale Komponente der erdmagnetischen Kraft zu erforschen, ein Vorzug, welcher darum von grosser Bedeutung ist, weil nur mit einer solchen nach Art der Coulomb'schen Drehwaage aufgehangenen Nadel feine Messungen ausgeführt werden können, nämlich mit dem *Magnetometer*. Es ist dem Verfasser gelungen, auf dem eben angedeuteten, schon in den „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1837“ erörterten Wege alle Vorzüge magnetometrischer Messungen, welche bisher auf *Deklination* und *horizontale Intensität* beschränkt waren, auch auf die *Inklination* auszudehnen. Die Ablenkungen der Magnetometernadel, auf welchen die Bestimmung der Inklination beruht, erhalten dabei dieselbe Grösse, wie die Ablenkungen, auf welchen die Bestimmung der horizontalen Intensität beruht, nämlich diejenige, welche der gebrauchte Maassstab noch zu messen gestattet, und zeigen eine gleiche Uebereinstimmung bis auf die kleinsten Bruchtheile in beiden Fällen. Was die Anordnung und Ausführung im Einzelnen betrifft, wodurch dieser Erfolg erlangt wird, muss auf die Abhandlung selbst verwiesen werden, und es sollen als Beleg hier blos die Resultate einer 10 Tage lang von 6 zu 6 Stunden fortgesetzten Beobachtungsreihe angeführt werden.

| Göttingen 1852. | 1h | 7h | 13h | 19h |
|---|---|---|---|---|
| August 2. | — | 67° 20′ 5″ | 67° 22′ 36″ | 67° 17′ 35″ |
| „ 3. | 67° 19′ 13″ | 67° 18′ 30″ | 67° 20′ 49″ | 67° 21′ 38″ |
| „ 4. | 67° 16′ 30″ | 67° 18′ 7″ | 67° 19′ 26″ | 67° 17′ 45″ |
| „ 5. | 67° 20′ 5″ | 67° 14′ 46″ | 67° 20′ 17″ | 67° 17′ 52″ |
| „ 6. | 67° 19′ 58″ | 67° 13′ 29″ | 67° 15′ 40″ | 67° 19′ 13″ |
| „ 7. | 67° 20′ 59″ | 67° 16′ 15″ | 67° 22′ 56″ | 67° 14′ 14″ |
| „ 8. | 67° 19′ 18″ | 67° 17′ 42″ | 67° 17′ 45″ | 67° 23′ 4″ |
| „ 9. | 67° 19′ 26″ | 67° 17′ 30″ | 67° 18′ 12″ | 67° 16′ 22″ |
| „ 10. | 67° 18′ 59″ | 67° 17′ 45″ | 67° 20′ 19″ | 67° 12′ 58″ |
| „ 11. | 67° 19′ 55″ | 67° 14′ 48″ | 67° 18′ 52″ | 67° 23′ 4″ |
| „ 12. | 67° 20′ 42″ | 67° 17′ 17″ | 67° 20′ 43″ | — |
| Mittel | 67° 19′ 32″ | 67° 16′ 56″ | 67° 19′ 47″ | 67° 18′ 16″ |

Aus allen diesen Beobachtungen ergiebt sich im Mittel eine vom Einfluss der unregelmässigen wie auch der täglichen regelmässigen Variationen freie und unabhängige Bestimmung für

1852 August 7. 67° 18′ 38″.

Es ist interessant, dass sich aus diesem Resultate, wenn man es mit dem von Gauss vor 10 Jahren gefundenen (Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1841) vergleicht, eine mittlere jährliche Abnahme der Inklination für diesen Zeitraum von

2′ 9″

ergiebt, während die a. a. O. von Gauss gegebene Zusammenstellung der von Humboldt und Forbes gemachten Messungen mit den seinigen für den vorhergegangenen 36jährigen Zeitraum

3′ 2,3″

ergeben hat. Die jährliche Abnahme der Inklination in Göttingen ist also, übereinstimmend mit Hansteen's Untersuchungen über die Beobachtungen an anderen europäischen Orten, kleiner geworden. Bezeichnet $t$ die Jahreszahl und $i$ die Inklination in Göttingen, so kann

$$i = 67^\circ 23' 43'' - 122{,}29'' \, (t - 1850) + 1{,}337'' \, (t - 1850)^2$$

gesetzt werden, woraus sich folgende Vergleichung beobachteter und berechneter Werthe ergiebt:

| | | beobachtet | berechnet | Unterschied |
|---|---|---|---|---|
| Humboldt | 1805 December | 69° 29′ 0″ | 69° 36′ 43″ | — 7′ 43″ |
| „ | 1826 September | 68° 29′ 26″ | 68° 23′ 17″ | + 6′ 9″ |
| Forbes | 1837 Juli 1. | 67° 47′ 0″ | 67° 52′ 41″ | — 5′ 41″ |
| „ | 1837 Juli 1. | 67° 53′ 30″ | | + 0′ 49″ |
| Gauss | 1841 Oktober 8. | 67° 42′ 43″ | 67° 42′ 0″ | + 0′ 43″ |
| „ | 1842 Juni 21. | 67° 39′ 39″ | 67° 40′ 18″ | — 0′ 39″ |
| „ | 1852 7. August | 67° 18′ 38″ | 67° 18′ 34″ | + 0′ 4″ |

Die jährliche Abnahme der Inklination in Göttingen wird hiernach in 22 bis 23 Jahren um 1 Minute kleiner, nämlich

| | | | |
|---|---|---|---|
| im Jahre | 1828 | . . . 3 | Minuten |
| „ „ | 1850 | . . . 2 | „ |
| „ „ | 1873 | . . . 1 | „ |
| „ „ | 1895 | . . . 0 | „ |

wonach zu erwarten sein würde, dass sie im Jahre 1895 das Minimum von

$$66^0\ 37'\ 7''$$

erreichte und von da an wieder zunähme.

Um den Gang dieser säkularen Variation ferner genau zu verfolgen, würde es zwar genügen, wenn an einem und demselben Orte die Beobachtungen nur aller 10 Jahre gemacht würden; es würde aber wünschenswerth sein, dass sie alsdann sehr zahlreich und zu allen Tages- und Nachtzeiten in immer gleichen Zwischenzeiten ausgeführt würden, um alle Einflüsse der unregelmässigen und der täglichen regelmässigen Variationen möglichst auszuschliessen. Das hier besprochene Inklinations-Magnetometer gestattet eine regelmässige Ausführung genauer Inklinations-Messungen von Stunde zu Stunde, bei Tage und bei Nacht, was mit anderen Inklinatorien unausführbar sein würde, und erfordert von Seiten der Beobachter nur diejenige Fertigkeit, die für alle Beobachtungen mit dem Magnetometer unentbehrlich ist: es kann damit die Inklination sogar viel leichter genau bestimmt werden als die horizontale Intensität des Erdmagnetismus.

Auf diesen praktisch wichtigen Erfolg in Beziehung auf die Inklinations-Messungen ist aber das Interesse, welches die dabei zum Grunde gelegte Methode gewährt, keineswegs beschränkt, vielmehr bietet dieselbe Methode bei ihrer grossen Präcision ein anderes in manchen Beziehungen noch grösseres Interesse durch die vielen aus der Anwendung der *elektro-magnetischen* und *magnet-elektrischen* Gesetze sich dabei ergebenden Relationen dar, von denen der zweite Teil der Abhandlung handelt. Es ergeben sich daraus neue Anwendungen derselben Methode, desselben Instrumentes und sogar derselben Beobachtungen zu verschiedenen Zwecken, wovon die Anwendung auf den *Galvanismus* besonders hervorgehoben zu werden verdient.

Zur Bestimmung der Inklination wurde nämlich nach dieser Methode sowohl die vertikale als auch die horizontale Komponente der erdmagnetischen Kraft nach einem gleichen wenn auch unbekannten Maasse gemessen. Dass dieses Maass unbekannt ist, beruht aber wesentlich nur darauf, dass man die Grösse des *galvanischen Widerstandes* der vom Induktor und Multiplikator gebildeten Kette nicht kennt. Vergleicht man aber mit dem nach diesem unbekannten Maasse für die

*horizontale* Komponente der erdmagnetischen Kraft erhaltenen Resultate den nach der Gauss'schen Methode nach absolutem Maasse bestimmten Werth der nämlichen horizontalen Komponente, so leuchtet ein, dass man dadurch nicht allein jenes unbekannte Maass daraus bestimmen kann, sondern dass man auch die unbekannte Grösse des *galvanischen Widerstandes* der vom Induktor und Multiplikator gebildeten Kette nach absolutem Maasse ausgedrückt erhält. Diese Bestimmung ist aber eine der wichtigsten Fundamentalbestimmungen für die Lehre vom Galvanismus, in welcher die Anwendung aller Gesetze von der Kenntniss der galvanomotorischen Kräfte und der galvanischen Widerstände abhängt. Ist der Widerstand der vom Induktor und Multiplikator gebildeten Kette bestimmt, so ergeben sich alle anderen galvanischen Widerstände durch Vergleichung.

Diese Fundamentalbestimmung des galvanischen Widerstandes lässt sich aber nach dieser Methode mit grosser Schärfe und Genauigkeit ausführen, was darauf beruht, dass sich aus jeder Beobachtungsreihe *zwei* von einander unabhängige Bestimmungen mit grosser Genauigkeit ergeben, nämlich *erstens* die grösste Ablenkung der vom inducirten Strome in Schwingung gesetzten Magnetometernadel, *zweitens* der Exponent der Abnahme der Schwingungsbögen derselben Nadel. Die Kenntniss der letzteren Grösse ersetzt aber, wie sich leicht ergiebt, die sonst sehr schwer zu erlangende Kenntniss von der Vertheilung des Magnetismus in der Magnetometernadel und von allen räumlichen Verhältnissen dieser Nadel zu ihrem Multiplikator, so dass die Berechnung des galvanischen Widerstandes, nach Elimination dieser weniger einfachen Verhältnisse, ausser obigen beiden aus den Beobachtungen unmittelbar sich ergebenden Bestimmungen nur wenige einfache und leicht mit grosser Schärfe zu machende Abmessungen am Induktor und der Magnetometernadel fordert.

Ist auf diese Weise der Widerstand eines Drahtes von bekannter Masse und bekannter Länge genau bestimmt, so kann nach bekannten Gesetzen der Widerstand eines Drahtes von 1 Millimeter Länge und 1 Milligramm Masse, d. i. der *specifische Widerstand des Metalles* daraus leicht berechnet werden, und es hat sich hieraus der specifische Widerstand des zum Induktor und Multiplikator verwendeten Kupfers = 1999900 ergeben. Jedoch hat schon Jacobi bemerkt, dass in dem specifischen Widerstande verschiedener Kupfersorten grosse Differenzen vorkommen, und es möge daher zur Vergleichung noch der kleinste und grösste vom Verfasser gefundene Werth desselben beigefügt werden. Der kleinste Werth war der eines Drahtes aus galvanoplastisch niedergeschlagenem Kupfer = 1684000; der grösste der des von Jacobi zu seinem Widerstands-Etalon gebrauchten Kupfers = 2310000.

XXVIII.

# Bestimmung der rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen in dem Zeitraume von 1834—1853.

Von

**Wilhelm Weber.**

Nebst einer Steindrucktafel.[1])

Aus dem sechsten Bande der Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen.

**Göttingen.**
1855.

[1]) [Tafel X.]

In der Abhandlung Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Auctore C. F. Gauss.[1]) Art. 3 werden die Magnete in *beharrliche* und *veränderliche* eingetheilt und es wird vorausgesetzt, dass alle Beobachtungen, welche zur Bestimmung der Intensität des *Erdmagnetismus* dienen sollen, mit *beharrlichen* Magneten gemacht, oder wenigstens auf diejenigen Werthe reducirt worden, welche man erhalten haben würde, wenn der Magnetismus der Nadeln *beharrlich* gewesen wäre. Die Erfahrung lehrt nun, dass es in der Natur keine vollkommen *beharrlichen* Magnete giebt, sondern dass der Magnetismus jedes Körpers *Aenderungen* unterworfen ist, welche in *regelmässige* und *unregelmässige* eingetheilt werden können. Zu den *regelmässigen* Aenderungen des Magnetismus rechnet man die von der *Temperatur* abhängigen; es gehören dazu aber auch noch ausserdem die von der *Lage zu anderen Magneten*, namentlich zur *Erde*, abhängigen. Zu den *unregelmässigen* Aenderungen gehören die durch heftige Erschütterungen, durch Berührungen mit anderen Magneten, durch elektrische Entladungen u. s. w. hervorgebrachten *bleibenden* Aenderungen des Magnetismus. Vor Einflüssen der letzten Art lassen sich die zu feineren Messungen dienenden Magnetnadeln leicht so bewahren, dass daraus für die Messungen selbst kein merklicher Nachtheil entspringt, und dass also die mit diesen Nadeln gemachten Beobachtungen meist blos einer Reduktion wegen der *regelmässigen* Aenderungen bedürfen.

Diese Reduktion ist nun verschieden, je nachdem es sich um Beobachtungen handelt, welche die Bestimmung des *absoluten Werthes* der Intensität des Erdmagnetismus, oder solche, welche blos seine *Variationen* betreffen. Die *ersteren* Beobachtungen lassen sich nämlich, wie schon von Gauss a. a. O. Art. 10 bemerkt worden, so einrichten, dass der Einfluss der von der *Temperatur* abhängigen Aenderungen in der Berechnung des *absoluten Werthes* der Intensität verschwindet, indem zwei Nadeln gebraucht werden, die gleichzeitig gleichen Aenderungen unterworfen sind; sollten aber auch ihre Aenderungen nicht ganz gleich sein, so würde doch jener Einfluss immer so klein bleiben, dass er kaum einer Berücksichtigung bedarf. Es ist daher bei diesen Beobachtungen nur eine Reduktion wegen der von der *Lage der Nadeln zur Erde* abhängigen Aenderungen ihres Magnetismus erforderlich. — Bei der

[1]) [Gauss' Werke, Bd. V, p. 79.]

Messung der Intensität des *horizontalen Erdmagnetismus* wird nämlich eine Magnetnadel 1. in einer mit dem magnetischen Meridiane *parallelen* Lage beobachtet, während sie *schwingt;* 2. wird dieselbe Nadel in eine gegen den magnetischen Meridian *senkrechte* Lage gebracht und dadurch eine andere Nadel (Hülfsnadel) vom magnetischen Meridiane *abgelenkt*. Aus der Kombination jener Schwingungsbeobachtungen und dieser Ablenkungsbeobachtungen wird sodann die Intensität des *horizontalen Erdmagnetismus* berechnet, was aber nur geschehen kann, wenn die *Aenderung* des Magnetismus der Nadel bei ihrer Versetzung aus der dem magnetischen Meridiane *parallelen* in die darauf *senkrechte* Lage bekannt ist und demgemäss die Beobachtungen *reducirt* worden sind. — Die *letzteren,* die Variationen betreffenden, Beobachtungen werden dagegen mit einer Nadel gemacht, deren Lage gegen die Erde sich nur sehr wenig ändert, so dass hier umgekehrt die von dieser *Lage* abhängigen Aenderungen des Nadelmagnetismus unmerklich sind und keiner Berücksichtigung bedürfen und dass also nur eine Reduktion wegen der von der *Temperatur* abhängigen Aenderungen erforderlich ist, wenigstens wenn man von den *unregelmässigen* Aenderungen absieht, die bei sorgfältiger Behandlung des Instrumentes erst nach einem längeren Zeitraume entschieden hervortreten und daher in den meisten Fällen, wo es sich nur um die Variationen während einer *mässigen Zeit,* z. B. einiger Tage, handelt, unberücksichtigt bleiben können. Die letzteren Beobachtungen bedürfen daher in den meisten Fällen nur einer Reduktion wegen der von der *Temperatur* abhängigen Aenderungen des Nadelmagnetismus; diese Reduktion lässt sich aber so einrichten, dass dadurch zugleich auch aller Einfluss *unregelmässiger* Aenderungen des Nadelmagnetismus eliminirt und vergleichbare Variationsbeobachtungen auch für *längere Zeiträume* gewonnen werden. — Diese beiden Reduktionen bilden den Hauptgegenstand der folgenden Untersuchung.

Der *erste* Theil handelt nämlich von der Bestimmung der von der *Lage zur Erde* abhängigen Aenderungen des Nadelmagnetismus; im *zweiten* Theile werden sodann die rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen für den Zeitraum von 1834—1853 aus den nach den Ergebnissen des ersten Theiles reducirten Beobachtungen bestimmt; der *dritte* Theil handelt endlich von der Reduktion der die Intensitätsvariationen des horizontalen Erdmagnetismus betreffenden Beobachtungen.

## I. *Bestimmung der von der Lage zur Erde abhängigen Aenderungen des Nadelmagnetismus.*

Die Untersuchung der von der Lage zur Erde abhängigen Aenderungen des Nadelmagnetismus führt zur allgemeinen Betrachtung der

*Veränderlichkeit des Magnetismus in Körpern von grosser Koercitivkraft durch kleine Kräfte;* denn die zu Beobachtungen des Erdmagnetismus gebrauchten Nadeln pflegen aus sehr hartem Stahle zu bestehen und besitzen also eine sehr *grosse Koercitivkraft,* während die Kräfte, mit denen die Erde bei verschiedener Lage der Nadeln auf deren Magnetismus wirkt, im Vergleich zu denjenigen Kräften, welche bei der Magnetisirung harter Stahlnadeln angewandt werden, um die Koercitivkraft zu überwinden, als verschwindend *klein* betrachtet werden können. Es ist daher die Thatsache schon an sich sehr interessant, dass überhaupt noch eine von so kleinen Kräften herrührende *Aenderung* des Magnetismus solcher Nadeln *wahrgenommen* wird, und insbesondere, dass diese kleinen Aenderungen *regelmässige* sind, d. h. dass die Nadel immer wieder denselben Magnetismus annimmt, so oft dieselbe Kraft auf sie wirkt. Es ist dieser interessante Gegenstand zuerst von Fechner in seiner Schrift: De magnetismo variabili qui chalybi actione galvanica inducitur (siehe Poggendorff's Annalen 1842, Bd. 55) behandelt und durch die von ihm mitgetheilten Versuche ist sowohl das Faktum der *Aenderung* als auch das der erwähnten *Regelmässigkeit* ausser Zweifel gesetzt worden. Die von ihm gebrauchte Methode lässt sich aber nicht unter allen Verhältnissen und namentlich nicht auf solche Nadeln, wie zur Messung der Intensität des Erdmagnetismus gebraucht werden, anwenden; denn Fechner hat die Aenderung des Nadelmagnetismus nicht durch die *magnetische Kraft der Erde*, sondern durch die Kraft eines *galvanischen Stromes* hervorgebracht, und zwar unter solchen Verhältnissen, wo letztere auf erstere nicht reducirt werden konnte: auch würde dabei die Anwendung *grösserer* Nadeln unzulässig gewesen sein. Es war daher nothwendig zu dem hier vorliegenden Zwecke eine neue Methode zu suchen.

Der Magnetismus eines Körpers wird durch seine Wirkungen entweder auf den *Magnetismus* oder auf die *Elektricität* anderer Körper erforscht, wovon die letzteren in *Bewegungen* der Elektricität bestehen, die man mit dem Namen der *inducirten Ströme* bezeichnet. Nun hat die Methode, den Magnetismus durch die von ihm *inducirten Ströme* zu erforschen, im 5. Bande dieser Abhandlungen[1]) schon Anwendung auf den *Erdmagnetismus* gefunden, nämlich auf die Messung der *Inklination,* wo sie sich praktisch als genauer und bequemer als alle anderen Methoden bewährt hat, weil dadurch die aus *Umkehrung der Pole* und aus der *Friktion* entspringenden Hindernisse ganz vermieden wurden. — Es würde sich nun dieselbe Methode auch auf Messung der *Deklination* anwenden lassen, wo sie aber praktisch von keiner wesentlichen Be-

[1]) [Siehe die vorhergehende Abhandlung.]

deutung sein würde, weil hier die bisherigen Methoden weder an Genauigkeit noch an Bequemlichkeit etwas zu wünschen übrig lassen. — Dagegen lässt sich dieselbe Methode statt zur Erforschung des *Erdmagnetismus* auch zur Erforschung des *Nadelmagnetismus* gebrauchen, namentlich zur Erforschung der *von der Lage zur Erde abhängigen Aenderungen* des Magnetismus derjenigen Nadeln, welche zur Messung der *Intensität des Erdmagnetismus* gebraucht werden, und liefert dadurch ein wichtiges *Element* zu dieser letzteren Messung, wodurch wir darin zugleich die gesuchte neue Methode finden, welche für den vorliegenden Zweck den Vorzug vor der FECHNER'schen verdient.

Es besteht nun diese Methode wesentlich darin, dass die Nadel fest in eine Kapsel eingeschlossen wird, die selbst mit einem isolirten Drahte umwickelt ist, dessen Enden zu einem in grosser Entfernung aufgestellten Galvanometer geleitet und mit den beiden Enden seines Multiplikatordrahtes fest verbunden werden. Es leuchtet dann ein, dass wenn man die Nadel mit der Kapsel senkrecht hält und plötzlich umdreht, in dem darum gewundenen Drahte nach bekanntem Induktionsgesetze ein galvanischer Strom *inducirt* wird, der, indem er den Multiplikator durchläuft, die Galvanometernadel ablenkt. So schwach auch dieser *inducirte* Strom ist, so kann doch bei einem sehr empfindlichen Galvanometer die von ihm hervorgebrachte Ablenkung nicht blos wahrgenommen, sondern auch genau gemessen werden. Es wird aber bei der erwähnten Umdrehung ein *doppelter* Strom inducirt, nämlich *erstens* inducirt der vertikale Theil der erdmagnetischen Kraft *unmittelbar* einen Strom in dem um die Kapsel gewundenen Drahte; *zweitens* inducirt derselbe Theil der erdmagnetischen Kraft auch *mittelbar* einen Strom in demselben Drahte, indem er eine *kleine Aenderung des Nadelmagnetismus* hervorbringt. Ausserdem findet aber keine Induktion statt, denn der Magnetismus, welchen die Nadel unabhängig vom Einfluss des Erdmagnetismus besitzt, ist darum wirkungslos, weil die Nadel bei gemeinschaftlicher Umdrehung mit der Kapsel gegen den um die Nadel gewundenen Draht unverrückt bleibt. Hierin besteht der wesentliche Vorzug dieser Methode, dass die dabei beobachtete Wirkung blos von dem *variabelen* und nicht von dem *konstanten* Theile des Nadelmagnetismus abhängt; denn sonst würde, da der letztere gegen den ersteren sehr gross ist, durch Elimination aus den vermischten Wirkungen beider Theile der erstere nicht genau ermittelt werden können. — Die Wirkungen der beiden oben erwähnten Ströme, welche *gleichzeitig* inducirt werden, lassen sich aber leicht *scheiden*, wenn man die Beobachtungen mit der Kapsel und dem darum gewundenen Drahte *allein* wiederholt, nachdem die Nadel aus der Kapsel herausgenommen worden ist.

Der zu den folgenden Versuchen gebrauchte *Induktor* bestand aus

einer 21 Millimeter dicken, 151 Millimeter langen Messingröhre, um welche ein mit Baumwolle umsponnener, mit Guttapercha überzogener, $2^1/_4$ Millimeter dicker Kupferdraht in 10 Lagen übereinander 420 Mal herumgewunden war. Der Durchmesser einer diese Rolle umschliessenden Cylinderfläche war 79,2 Millimeter. Dieser *Induktor* war durch zwei 6 Meter lange Kupferdrähte mit dem *Multiplikator des Galvanometers* verbunden. Der als Galvanometernadel dienende Magnet war sehr stark, aber nur 28 Millimeter lang: er war zu feinerer Beobachtung mit Spiegel versehen und mit einem starken Dämpfer umgeben. Die magnetometrische Beobachtung der Nadel mit Fernrohr, Spiegel und Skala, in Verbindung mit der Stärke des Multiplikators und mit einem günstigen Verhältniss seines Widerstandes zu dem des Induktors, gab dem Instrumente einen hohen Grad von Empfindlichkeit, die auf folgende Weise noch vermehrt wurde. Die *Schwingungsdauer* der Nadel betrug nämlich bei ungeschwächter erdmagnetischer Direktionskraft 9 Sekunden; bei den folgenden Versuchen wurde aber die Einrichtung getroffen, dass die erdmagnetische Direktionskraft durch einen aus der Ferne auf die Nadel wirkenden Magnet geschwächt wurde, so dass die *Schwingungsdauer* der Nadel auf 19 Sekunden stieg, wodurch die *Empfindlichkeit* nach dem Verhältniss der Quadrate $9^2 : 19^2$ vergrössert wurde.

Es wurden nun hiermit *zwei* Beobachtungsreihen ausgeführt, wobei der *Induktor* immer senkrecht stand, bald aber das *eine*, bald das *andere* Ende seiner Axe nach oben gekehrt, indem er jedes Mal in dem Augenblicke, wo die schwingende Galvanometernadel den *magnetischen Meridian* passirte, umgekehrt wurde. Vor und nach jeder Umkehrung wurde die *Elongation* der schwingenden Nadel beobachtet. In der *ersten* Beobachtungsreihe war es der *Induktor allein*, mit dem diese Versuche gemacht wurden; in der *zweiten* waren es der *Induktor nebst dem in der Mitte befestigten Magnetstab No. I* (153,4 Millimeter lang und 12,6 Millimeter dick, dessen Masse = 151 360 Milligramm war), die beide nur zusammen bewegt und umgedreht werden konnten. In der *ersten* Kolumne der folgenden Tafel sind die *Induktionsstösse* (Umkehrungen des Induktors) gezählt; in der *zweiten* Kolumne ist der Stand der Nadel bei ihrer jedem Induktionsstosse zunächst vorausgegangenen und zunächst nachgefolgten grössten Elongation bemerkt; in der *dritten* Kolumne ist der für die Zeit der grössten Elongation geltende *Ruhestand* der Nadel, mit Zuziehung der vorausgegangenen und nachgefolgten grössten Elongation und mit Rücksicht auf den Einfluss der *Dämpfung* berechnet, angegeben worden; endlich ist in der *vierten* Kolumne die jeder grössten Elongation entsprechende *Ablenkung* der Nadel von ihrem Ruhestande beigefügt.

| Tafel I. Induktor allein. | | | | Tafel II. Induktor nebst Magnetstab. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Induktionsstoss. No. | Stand der Nadel im Augenblicke der grössten Elongation. | Ruhestand der Nadel. | Ablenkung. | Induktionsstoss. No. | Stand der Nadel im Augenblicke der grössten Elongation. | Ruhestand der Nadel. | Ablenkung. |
| | 514,5 | | | | 517,9 | | |
| | 513,9 | | | | 521,7 | | |
| | 515,4 | 514,4 | + 1,0 | | 518,7 | 519,9 | — 1,2 |
| 1. | 520,4 | 514,2 | + 6,2 | 1. | 539,3 | 519,9 | + 19,4 |
| 2. | 502,4 | 514,4 | — 12,0 | 2. | 486,0 | 519,7 | — 33,7 |
| 3. | 531,1 | 514,5 | + 16,6 | 3. | 564,6 | 519,7 | + 44,9 |
| 4. | 494,6 | 514,8 | — 20,2 | 4. | 465,8 | 519,6 | — 53,8 |
| 5. | 538,0 | 514,7 | + 23,3 | 5. | 580,3 | 519,4 | + 60,9 |
| 6. | 489,0 | 514,7 | — 25,7 | 6. | 452,8 | 519,4 | — 66,6 |
| 7. | 542,2 | 514,5 | + 27,7 | 7. | 590,6 | 519,1 | + 71,5 |
| 8. | 485,0 | 514,3 | — 29,3 | 8. | 443,4 | 519,0 | — 75,6 |
| 9. | 544,7 | 514,1 | + 30,6 | 9. | 597,9 | 519,1 | + 78,8 |
| 10. | 482,3 | 514,0 | — 31,7 | 10. | 437,8 | 519,1 | — 81,3 |
| 11. | 546,4 | 513,9 | + 32,5 | 11. | 602,6 | 519,1 | + 83,5 |
| 12. | 480,6 | 513,8 | — 33,2 | 12. | 434,0 | 519,1 | — 85,1 |
| 13. | 547,6 | 513,7 | + 33,9 | 13. | 605,3 | 519,1 | + 86,2 |
| 14. | 479,2 | 513,6 | — 34,4 | 14. | 431,9 | 519,1 | — 87,2 |
| 15. | 548,2 | 513,5 | + 34,7 | 15. | 607,2 | 519,2 | + 88,0 |
| 16. | 478,7 | 513,5 | — 34,8 | 16. | 430,5 | 519,1 | — 88,6 |
| 17. | 548,5 | 513,4 | + 35,1 | 17. | 608,1 | 519,0 | + 89,1 |
| 18. | 477,8 | 513,1 | — 35,3 | 18. | 429,3 | 518,9 | — 89,6 |
| 19. | 548,2 | 512,6 | + 35,6 | 19. | 608,9 | 519,0 | + 89,9 |
| 20. | 476,3 | 512,6 | — 36,3 | 20. | 428,9 | 519,0 | — 90,1 |
| | 541,7 | 512,6 | + 29,1 | | 591,1 | 519,0 | + 72,1 |
| 21. | 496,3 | 512,2 | — 15,9 | 21. | 479,4 | 518,5 | — 39,1 |
| 22. | 517,7 | 512,3 | + 5,4 | 22. | 532,2 | 519,1 | + 13,1 |
| 23. | 515,1 | 512,0 | + 3,1 | 23. | 526,2 | 518,4 | + 7,8 |
| 24. | 502,2 | 512,0 | — 9,8 | 24. | 494,4 | 518,8 | — 24,4 |
| 25. | 527,0 | 511,8 | + 15,2 | 25. | 556,1 | 518,6 | + 37,5 |
| 26. | 492,2 | 511,5 | — 19,3 | 26. | 471,2 | 519,1 | — 47,9 |
| 27. | 533,5 | 511,0 | + 22,5 | 27. | 575,2 | 518,8 | + 56,4 |
| 28. | 485,8 | 510,9 | — 25,1 | 28. | 455,6 | 519,0 | — 63,4 |
| 29. | 537,8 | 510,7 | + 27,1 | 29. | 587,8 | 518,8 | + 69,0 |
| 30. | 481,8 | 510,4 | — 28,6 | 30. | 445,3 | 518,8 | — 73,5 |
| 31. | 539,7 | 509,8 | + 29,9 | 31. | 595,9 | 518,8 | + 77,1 |
| 32. | 478,5 | 509,7 | — 31,2 | 32. | 439,0 | 518,9 | — 79,9 |
| 33. | 542,0 | 509,8 | + 32,2 | 33. | 601,1 | 519,0 | + 82,1 |
| 34. | 477,1 | 509,8 | — 32,7 | 34. | 435,2 | 519,1 | — 83,9 |
| 35. | 542,9 | 509,7 | + 33,2 | 35. | 604,5 | 519,1 | + 85,4 |
| 36. | 476,1 | 509,9 | — 33,8 | 36. | 432,6 | 519,1 | — 86,5 |
| 37. | 544,4 | 510,0 | + 34,3 | 37. | 606,4 | 519,1 | + 87,3 |

| Tafel I. Induktor allein. | | | | Tafel II. Induktor nebst Magnetstab. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Induktionsstoss. No. | Stand der Nadel im Augenblicke der grössten Elongation. | Ruhestand der Nadel. | Ablenkung. | Induktionsstoss. No. | Stand der Nadel im Augenblicke der grössten Elongation. | Ruhestand der Nadel. | Ablenkung. |
| 38. | 475,2 | 509,9 | — 34,7 | 38. | 431,2 | 519,1 | — 87,9 |
| 39. | 544,6 | 509,8 | + 34,8 | 39. | 607,5 | 519,1 | + 88,4 |
| 40. | 474,7 | 509,6 | — 34,9 | 40. | 430,3 | 519,1 | — 88,8 |
| 41. | 537,2 | 509,4 | + 27,8 | 41. | 590,4 | 519,2 | + 71,2 |
| 42. | 494,2 | 509,2 | — 15,0 | 42. | 480,4 | 518,9 | — 38,5 |
| 43. | 514,4 | 509,2 | + 5,2 | 43. | 532,5 | 519,6 | + 12,9 |
| 44. | 511,5 | 508,9 | + 2,6 | 44. | 526,7 | 518,8 | + 7,9 |
| 45. | 500,4 | 509,4 | — 9,0 | 45. | 494,7 | 519,2 | — 24,5 |
| 46. | 523,6 | 509,4 | + 14,2 | 46. | 556,6 | 518,8 | + 37,8 |
| 47. | 491,3 | 509,6 | — 18,3 | 47. | 470,7 | 519,1 | — 48,4 |
| 48. | 531,2 | 509,4 | + 21,8 | 48. | 575,7 | 518,8 | + 56,9 |
| 49. | 484,8 | 509,4 | — 24,6 | 49. | 455,3 | 519,0 | — 63,7 |
| 50. | 536,1 | 509,4 | + 26,7 | 50. | 588,2 | 518,9 | + 69,3 |
| 51. | 481,3 | 509,4 | — 28,1 | 51. | 445,3 | 518,9 | — 73,6 |
| 52. | 538,7 | 509,4 | + 29,3 | 52. | 595,6 | 518,6 | + 77,0 |
| 53. | 479,2 | 509,6 | — 30,4 | 53. | 438,9 | 518,7 | — 79,8 |
| 54. | 541,1 | 509,7 | + 31,4 | 54. | 600,8 | 518,7 | + 82,1 |
| 55. | 477,7 | 509,9 | — 32,2 | 55. | 434,8 | 518,6 | — 83,8 |
| 56. | 543,0 | 510,0 | + 33,0 | 56. | 603,7 | 518,5 | + 85,2 |
| 57. | 476,3 | 509,9 | — 33,6 | 57. | 432,2 | 518,6 | — 86,4 |
| 58. | 543,9 | 509,9 | + 34,0 | 58. | 605,9 | 518,6 | + 87,3 |
| 59. | 475,6 | 509,8 | — 34,2 | 59. | 430,6 | 518,5 | — 87,9 |
| 60. | 544,2 | 509,8 | + 34,4 | 60. | 607,1 | 518,5 | + 88,6 |
| | 475,3 | 509,8 | — 34,5 | | 429,3 | 518,5 | — 89,2 |
| 61. | 537,6 | 509,9 | + 27,7 | 61. | 590,1 | 518,6 | + 71,5 |
| 62. | 494,9 | 509,7 | — 14,8 | 62. | 479,4 | 518,0 | — 38,6 |
| 63. | 514,5 | 509,8 | + 4,7 | 63. | 531,3 | 518,6 | + 12,7 |
| 64. | 513,0 | 509,5 | + 3,5 | 64. | 526,1 | 518,1 | + 8,0 |
| 65. | 499,4 | 509,6 | — 10,2 | 65. | 494,2 | 518,6 | — 24,4 |
| 66. | 525,0 | 509,6 | + 15,4 | 66. | 555,9 | 518,2 | + 37,7 |
| 67. | 490,2 | 509,9 | — 19,7 | 67. | 470,3 | 518,6 | — 48,3 |
| 68. | 533,2 | 510,0 | + 23,2 | 68. | 575,2 | 518,4 | + 56,8 |
| 69. | 484,2 | 510,1 | — 25,9 | 69. | 455,2 | 518,7 | — 63,5 |
| 70. | 538,2 | 510,3 | + 27,9 | 70. | 587,5 | 518,5 | + 69,0 |
| | 481,2 | 510,3 | — 29,1 | | 445,2 | 518,5 | — 73,3 |

Bezeichnet man irgend eine in der Tafel angegebene Ablenkung mit $x$, und mit $1:\vartheta$ das von der Dämpfung abhängige Verhältniss zweier auf einander folgenden Schwingungsbögen, so ist die nächstfolgende Ablenkung, falls dazwischen *kein* Induktionsstoss eintritt,

$= - x\vartheta$; falls aber *ein* Induktionsstoss dazwischen eintritt, $= - x\vartheta \pm y$, wo $y$ die Ablenkung bezeichnet, welche der *ruhenden* Nadel durch *einen* Induktionsstoss ertheilt werden würde. Ist aber $+ y$ die Ablenkung der *ruhenden* Nadel nach dem *ersten* Induktionsstosse, so ist die Ablenkung derselben nach dem *zweiten* Induktionsstosse (welcher in entgegengesetzter Richtung in dem Augenblicke Statt findet, wo die zurückschwingende Nadel die Gleichgewichtslage passirt) $= - y\vartheta - y = - y(1 + \vartheta)$; nach dem *dritten* Induktionsstosse $= + y(1 + \vartheta)\vartheta + y = + y(1 + \vartheta + \vartheta^2)$ u. s. f. und nähert sich immer mehr dem Grenzwerthe $a = y(1 + \vartheta + \vartheta^2 + \vartheta^3 + \ldots) = \frac{y}{1 - \vartheta}$, aus welchem $y = a(1 - \vartheta)$ erhalten wird. Mit diesem Werthe von $y$ ergiebt sich die auf $x$ folgende Ablenkung, wenn *ein* Induktionsstoss dazwischen Statt gefunden hat, $= - x\vartheta \pm a(1 - \vartheta) = \pm a - (\pm a + x)\vartheta$. Hiernach ist nun in Tafel I, wo die Ablenkung vor dem *ersten* Induktionsstosse $x = 1$ war, die Ablenkung nach dem 1. Induktionsstosse

$$= + a - (+ a + [1])\vartheta = + a - (a + 1)\vartheta,$$

nach dem 2. Induktionsstosse

$$= - a - (- a + [+ a - (a + 1)\vartheta])\vartheta = - a + (a + 1)\vartheta^2,$$

nach dem 3. Induktionsstosse

$$= + a - (+ a + [- a + (a + 1)\vartheta^2])\vartheta = + a - (a + 1)\vartheta^3,$$

u. s. w. Auf diese Weise erhält man für die in Tafel I und II angeführten Ablenkungen folgende Gleichungen.

Tafel I.

| | |
|---|---|
| $1{,}0 = a - (a + 1)\,\vartheta^0$ | $-29{,}1 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^0$ |
| $6{,}2 = a - (a + 1)\,\vartheta^1$ | $-15{,}9 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^1$ |
| $12{,}0 = a - (a + 1)\,\vartheta^2$ | $-5{,}4 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^2$ |
| $16{,}6 = a - (a + 1)\,\vartheta^3$ | $3{,}1 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^3$ |
| $20{,}2 = a - (a + 1)\,\vartheta^4$ | $9{,}8 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^4$ |
| $23{,}3 = a - (a + 1)\,\vartheta^5$ | $15{,}2 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^5$ |
| $25{,}7 = a - (a + 1)\,\vartheta^6$ | $19{,}3 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^6$ |
| $27{,}7 = a - (a + 1)\,\vartheta^7$ | $22{,}5 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^7$ |
| $29{,}3 = a - (a + 1)\,\vartheta^8$ | $25{,}1 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^8$ |
| $30{,}6 = a - (a + 1)\,\vartheta^9$ | $27{,}1 = a - (a + 86{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^9$ |
| $31{,}7 = a - (a + 1)\,\vartheta^{10}$ | $28{,}6 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{10}$ |
| $32{,}5 = a - (a + 1)\,\vartheta^{11}$ | $29{,}9 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{11}$ |
| $33{,}2 = a - (a + 1)\,\vartheta^{12}$ | $31{,}2 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{12}$ |
| $33{,}9 = a - (a + 1)\,\vartheta^{13}$ | $32{,}2 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{13}$ |
| $34{,}4 = a - (a + 1)\,\vartheta^{14}$ | $32{,}7 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{14}$ |
| $34{,}7 = a - (a + 1)\,\vartheta^{15}$ | $33{,}2 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{15}$ |
| $34{,}8 = a - (a + 1)\,\vartheta^{16}$ | $33{,}8 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{16}$ |
| $35{,}1 = a - (a + 1)\,\vartheta^{17}$ | $34{,}3 = o - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{17}$ |
| $35{,}3 = a - (a + 1)\,\vartheta^{18}$ | $34{,}7 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{18}$ |
| $35{,}6 = a - (a + 1)\,\vartheta^{19}$ | $34{,}8 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{19}$ |
| $36{,}3 = a - (a + 1)\,\vartheta^{20}$ | $34{,}9 = a - (a + 36{,}3\,\vartheta)\,\vartheta^{20}$ |

## Tafel I.

$-27{,}8 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{0}$
$-15{,}0 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{1}$
$-5{,}2 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{2}$
$2{,}6 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{3}$
$9{,}0 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{4}$
$14{,}2 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{5}$
$18{,}3 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{6}$
$21{,}8 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{7}$
$24{,}6 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{8}$
$26{,}7 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{9}$
$28{,}1 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{10}$
$29{,}3 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{11}$
$30{,}4 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{12}$
$31{,}4 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{13}$
$32{,}2 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{14}$
$33{,}0 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{15}$
$33{,}6 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{16}$
$34{,}0 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{17}$
$34{,}2 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{18}$
$34{,}4 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{19}$
$34{,}5 = a - (a + 34{,}9\,\vartheta)\,\vartheta^{20}$

$-27{,}7 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{0}$
$-14{,}8 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{1}$
$-4{,}7 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{2}$
$3{,}5 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{3}$
$10{,}2 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{4}$
$15{,}4 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{5}$
$19{,}7 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{6}$
$23{,}2 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{7}$
$25{,}9 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{8}$
$27{,}9 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{9}$
$29{,}1 = a - (a + 34{,}5\,\vartheta)\,\vartheta^{10}$

## Tafel II.

$-1{,}2 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{0}$
$19{,}4 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{1}$
$33{,}7 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{2}$
$44{,}9 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{3}$
$53{,}8 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{4}$
$60{,}9 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{5}$
$66{,}6 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{6}$
$71{,}5 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{7}$
$75{,}6 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{8}$
$78{,}8 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{9}$
$81{,}3 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{10}$
$83{,}5 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{11}$
$85{,}1 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{12}$
$86{,}2 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{13}$
$87{,}2 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{14}$
$88{,}0 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{15}$
$88{,}6 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{16}$
$89{,}1 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{17}$
$89{,}6 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{18}$
$89{,}9 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{19}$
$90{,}1 = b - (b - 1{,}2)\,\vartheta^{20}$

$-72{,}1 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{0}$
$-39{,}1 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{1}$
$-13{,}1 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{2}$
$7{,}8 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{3}$
$24{,}4 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{4}$
$37{,}5 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{5}$
$47{,}9 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{6}$
$56{,}4 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{7}$
$63{,}4 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{8}$
$69{,}0 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{9}$
$73{,}5 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{10}$
$77{,}1 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{11}$
$79{,}9 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{12}$
$82{,}1 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{13}$
$83{,}9 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{14}$
$85{,}4 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{15}$
$86{,}5 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{16}$
$87{,}3 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{17}$
$87{,}9 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{18}$
$88{,}4 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{19}$
$88{,}8 = b - (b + 90{,}1\,\vartheta)\,\vartheta^{20}$

Tafel II.

| | |
|---|---|
| $-71{,}2 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^0$ | $-71{,}5 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^0$ |
| $-38{,}5 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^1$ | $-38{,}6 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^1$ |
| $-12{,}9 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^2$ | $-12{,}7 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^2$ |
| $7{,}9 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^3$ | $8{,}0 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^3$ |
| $24{,}5 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^4$ | $24{,}4 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^4$ |
| $37{,}8 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^5$ | $37{,}7 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^5$ |
| $48{,}4 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^6$ | $48{,}3 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^6$ |
| $56{,}9 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^7$ | $56{,}8 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^7$ |
| $63{,}7 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^8$ | $63{,}5 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^8$ |
| $69{,}3 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^9$ | $69{,}0 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^9$ |
| $73{,}6 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{10}$ | $73{,}3 = b - (b + 89{,}2\,\vartheta)\,\vartheta^{10}$ |
| $77{,}0 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{11}$ | |
| $79{,}8 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{12}$ | |
| $82{,}1 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{13}$ | |
| $83{,}8 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{14}$ | |
| $85{,}2 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{15}$ | |
| $86{,}4 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{16}$ | |
| $87{,}3 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{17}$ | |
| $87{,}9 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{18}$ | |
| $88{,}6 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{19}$ | |
| $89{,}2 = b - (b + 88{,}8\,\vartheta)\,\vartheta^{20}$ | |

In Tafel II ist in den Formeln für die Ablenkung der in Tafel I mit $a$ bezeichnete Grenzwerth $b$ genannt worden.

Die für Tafel I aufgestellten Gleichungen enthalten nur die beiden unbekannten Grössen $a$, $\vartheta$; die für Tafel II aufgestellten nur $b$, $\vartheta$. Diese *drei* unbekannten Werthe $a$, $b$, $\vartheta$ würden sich nun daraus nach der Methode der kleinsten Quadrate am genauesten bestimmen lassen; doch genügen zu dem vorliegenden Zwecke folgende Nährungswerthe:

$$a = 35{,}7$$
$$b = 91{,}0$$
$$\vartheta = 0{,}8,$$

wie man aus folgenden daraus *berechneten* Werthen der Ablenkung ersieht, neben denen die Unterschiede von den *beobachteten* bemerkt sind.

Tafel I.

| Berechnete Ablenkung. | Unterschied. | Berechnete Ablenkung. | Unterschied. | Berechnete Ablenkung. | Unterschied. | Berechnete Ablenkung. | Unterschied. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,0 | 0 | — 29,0 | + 0,1 | — 27,9 | — 0,1 | — 27,6 | + 0,1 |
| 6,4 | + 0,2 | — 16,1 | — 0,2 | — 15,2 | — 0,2 | — 14,9 | — 0,1 |
| 12,2 | + 0,2 | — 5,7 | — 0,3 | — 5,0 | + 0,2 | — 4,8 | — 0,1 |
| 16,9 | + 0,3 | 2,6 | — 0,5 | 3,1 | + 0,5 | 3,3 | — 0,2 |
| 20,7 | + 0,5 | 9,2 | — 0,6 | 9,6 | + 0,6 | 9,8 | — 0,4 |
| 23,7 | + 0,4 | 14,5 | — 0,7 | 14,9 | + 0,7 | 15,0 | — 0,4 |
| 26,1 | + 0,4 | 18,7 | — 0,6 | 19,0 | + 0,7 | 19,1 | — 0,6 |

| Berechnete Ablenkung. | Unterschied. | Berechnete Ablenkung. | Unterschied. | Berechnete Ablenkung. | Unterschied. | Berechnete Ablenkung. | Unterschied. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28,0 | + 0,3 | 22,1 | — 0,4 | 22,4 | + 0,6 | 22,4 | — 0,8 |
| 29,5 | + 0,2 | 24,8 | — 0,3 | 25,0 | + 0,4 | 25,1 | — 0,8 |
| 30,8 | + 0,2 | 27,0 | — 0,1 | 27,2 | + 0,5 | 27,2 | 0,7 |
| 31,8 | + 0,1 | 28,7 | + 0,1 | 28,9 | + 0,8 | 28,9 | — 0,2 |
| 32,5 | 0 | 30,1 | + 0,2 | 30,2 | + 0,9 | | |
| 33,2 | 0 | 31,2 | 0 | 31,3 | + 0,9 | | |
| 33,7 | — 0,2 | 32,1 | — 0,1 | 32,2 | + 0,8 | | |
| 34,1 | — 0,3 | 32,8 | + 0,1 | 32,9 | + 0,7 | | |
| 34,4 | — 0,3 | 33,4 | + 0,2 | 33,5 | + 0,5 | | |
| 34,7 | — 0,1 | 33,8 | 0 | 33,9 | + 0,3 | | |
| 34,9 | — 0,2 | 34,2 | — 0,1 | 34,3 | + 0,3 | | |
| 35,0 | — 0,3 | 34,5 | — 0,2 | 34,6 | + 0,4 | | |
| 35,2 | — 0,4 | 34,7 | — 0,1 | 34,8 | + 0,4 | | |
| 35,3 | — 1,0 | 34,9 | 0 | 35,0 | + 0,5 | | |

## Tafel II.

| Berechnete Ablenkung. | Unterschied. | Berechnete Ablenkung. | Unterschied. | Berechnete Ablenkung. | Unterschied. | Berechnete Ablenkung. | Unterschied. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — 1,2 | 0 | — 72,1 | 0 | — 71,0 | + 0,2 | — 71,4 | + 0,1 |
| 19,2 | — 0,2 | — 39,5 | — 0,4 | — 38,6 | — 0,1 | — 38,9 | — 0,3 |
| 33,5 | — 0,2 | — 13,4 | — 0,3 | — 12,7 | + 0,2 | — 12,9 | — 0,2 |
| 45,0 | + 0,1 | 7,5 | — 0,3 | 8,0 | + 0,1 | 7,8 | — 0,2 |
| 54,2 | + 0,4 | 24,2 | — 0,2 | 24,6 | + 0,1 | 24,5 | + 0,1 |
| 61,6 | + 0,7 | 37,6 | + 0,1 | 37,9 | + 0,1 | 37,8 | + 0,1 |
| 67,5 | + 0,9 | 48,2 | + 0,3 | 48,5 | + 0,1 | 48,4 | + 0,1 |
| 72,2 | + 0,7 | 56,8 | + 0,4 | 57,0 | + 0,1 | 56,9 | + 0,1 |
| 75,9 | + 0,3 | 63,6 | + 0,2 | 63,8 | + 0,1 | 63,7 | + 0,2 |
| 78,9 | + 0,1 | 69,1 | + 0,1 | 69,4 | + 0,1 | 69,2 | + 0,2 |
| 81,4 | + 0,1 | 73,5 | 0 | 73,6 | 0 | 73,6 | + 0,3 |
| 83,3 | — 0,2 | 77,0 | — 0,1 | 77,1 | + 0,1 | | |
| 84,8 | — 0,3 | 79,8 | — 0,1 | 79,9 | + 0,1 | | |
| 86,1 | — 0,1 | 82,0 | — 0,1 | 82,1 | 0 | | |
| 87,0 | — 0,2 | 83,8 | — 0,1 | 83,9 | + 0,1 | | |
| 87,8 | — 0,2 | 85,3 | — 0,1 | 85,2 | 0 | | |
| 88,5 | — 0,1 | 86,4 | — 0,1 | 86,4 | 0 | | |
| 89,0 | — 0,1 | 87,3 | 0 | 87,3 | 0 | | |
| 89,4 | — 0,2 | 88,1 | + 0,2 | 88,1 | + 0,2 | | |
| 89,7 | — 0,2 | 88,6 | + 0,2 | 88,6 | 0 | | |
| 90,0 | — 0,1 | 89,2 | + 0,4 | 89,2 | 0 | | |

Mit einem *zweiten* Magnetstabe No. II, der gleichfalls zur Messung des Erdmagnetismus als *Ablenkungsstab* gebraucht worden war, wurden dieselben Beobachtungsreihen gemacht und eben so berechnet, woraus

sich die Werthe von $a$ und $b$, welche von den vorigen durch Accente unterschieden werden sollen,

$$a' = 35,0$$
$$b' = 87,75$$

ergaben.

Diese Werthe von $a$ und $b$ sind nun den *inducirten Strömen* proportional, oder, weil die geschlossene Leitungskette bei allen Versuchen unverändert blieb, der *Induktion* selbst proportional. Es war aber bei den Versuchen Tafel I blos die *unmittelbare* Induktion wirksam, welche die *Erde auf die Induktorrolle* bei einer Umdrehung ausübte und die mit $T_i$ bezeichnet werden soll; bei den Versuchen Tafel II dagegen wirkte ausser der Induktion $T_i$ auch noch die Induktion, welche der im Magnetstabe *durch Umdrehung erzeugte Magnetismus auf die Induktorrolle* ausübte und die für den Stab No. I mit $M_i$, für den Stab No. II mit $M_i'$ bezeichnet werden soll. Hiernach ergeben sich folgende Proportionen:

$$T_i : T_i + M_i = a : b = 35,7 : 91,0$$
$$T_i : T_i + M_i' = a' : b' = 35,0 : 87,75,$$

woraus

$$M_i = 1,549 \cdot T_i$$
$$M_i' = 1,507 \cdot T_i$$

gefunden wird.

Die *Induktion der Erde* bei der beschriebenen Umdrehung der Induktorrolle $= T_i$ wird aber gefunden, wenn man den *vertikalen Erdmagnetismus* $= T \cdot \operatorname{tang} i$ (wo $T$ den *horizontalen Erdmagnetismus* und $i$ die *Inklination* bezeichnet) mit 2 und der Summe der von allen Induktorwindungen umschlossenen Kreisebenen multiplicirt. Siehe Elektrodynamische Maassbestimmungen S. 219. Nun war

$$T = 1,8014 \qquad i = 67^0\, 17'\, 40''$$

und der mittlere Werth der von den Induktorwindungen umschlossenen Kreisebenen ergiebt sich aus dem Durchmesser der beiden Cylinderflächen, zwischen welchen alle Windungen eingeschlossen waren, von 21 und 79,2 Millimetern,

$$= 2193 \text{ Quadratmillimeter};$$

folglich, wenn man mit $n$ die Zahl der Umwindungen $= 420$ bezeichnet, so war die *Induktion der Erde*

$$T_i = 2 \cdot 1,8014 \cdot \operatorname{tang} 67^0\, 17'\, 40'' \cdot 2193 \cdot n = 18884 \cdot n.$$

Mit diesem Werthe findet man

$$M_i = 29251 \cdot n$$
$$M_i' = 28458 \cdot n.$$

Es bleibt nun endlich noch übrig, aus dem gefundenen Werthe der *Induktion* die Veränderung des *magnetischen Momentes* beider Stäbe selbst zu bestimmen und mit der Grösse der *erdmagnetischen Kraft*, durch welche sie hervorgebracht worden war, zu vergleichen. Eine *genaue* Bestimmung hiervon zu geben, würde andere Einrichtungen nöthig gemacht haben, welche mit den vorhandenen Mitteln nicht hergestellt werden konnten; es genügt aber für den vorliegenden Zweck eine *genäherte* Bestimmung, welche auf *doppelte* Weise gewonnen werden konnte, nämlich *erstens* a priori aus den bekannten *Gesetzen* der Induktion; *zweitens* a posteriori aus der Vergleichung mit der *beobachteten* Induktion eines bestimmten *beharrlichen* Magnets. Beide Methoden sind in der beigefügten Note[1]) beschrieben und es hat sich daraus im Mittel

---

[1]) *Erste Bestimmung aus dem Induktionsgesetze.* — Die elektro-motorische Kraft eines inducirenden Theilchens des magnetischen Fluidums $\mu$ auf einen Ring vom Halbmesser $= a$ ist, wenn $\mu$ mit der Geschwindigkeit $= u$ in der Ringaxe bewegt wird, beim Abstande von der Ringebene $= b$, den Elektro-dynamischen Maassbestimmungen S. 365*) gemäss,

$$= -2\mu u \frac{\pi a^2}{(a^2+b^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Hieraus folgt der Integralwerth der elektro-motorischen Kraft für den Weg von $b = a$ bis $b = a + \beta$,

$$= -2\pi\mu\left\{\frac{a+\beta}{\sqrt{a^2+(a+\beta)^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2+a^2}}\right\}.$$

Für $n$ parallele Ringe, welche gleichförmig auf die Länge $\gamma$ und symmetrisch gegen die Endpunkte der Bahn $a$ und $a+\beta$ vertheilt sind, ist dieser Werth

$$= -2\pi\mu\frac{\overline{n}}{\gamma}\left\{\sqrt{a^2+(\beta+\tfrac{1}{2}\gamma)^2} - \sqrt{a^2+(\beta-\tfrac{1}{2}\gamma)^2}\right\}.$$

Bewegt sich ein Theilchen des anderen magnetischen Fluidums $-\mu$ auf demselben Wege rückwärts, so ergiebt sich daraus dieselbe elektro-motorische Kraft. Es wird hieraus gefunden, dass, wenn $\mu\beta = m$ gesetzt wird, $m$ dasjenige magnetische Moment bezeichnet, durch dessen Umkehrung die elektro-motorische Kraft

$$-4\pi\frac{\overline{mn}}{\beta\gamma}\left\{\sqrt{a^2+(\beta+\tfrac{1}{2}\gamma)^2} - \sqrt{a^2+(\beta-\tfrac{1}{2}\gamma)^2}\right\}$$

erhalten wird. Sind endlich die Ringe in Lagen von verschiedenen Halbmessern von $a = a'$ bis $a = a''$ gleichförmig vertheilt, und setzt man Kürze halber

$$a'^2 + (\beta + \tfrac{1}{2}\gamma)^2 = p'^2 \qquad a'^2 + (\beta - \tfrac{1}{2}\gamma)^2 = q'^2$$
$$a''^2 + (\beta + \tfrac{1}{2}\gamma)^2 = p''^2 \qquad a''^2 + (\beta - \tfrac{1}{2}\gamma)^2 = q''^2$$

so erhält man die elektro-motorische Kraft gleich

$$-\frac{2\pi mn}{\beta\gamma(a''-a')}\left\{a''(p''-q'') - a'(p'-q') + (p''^2-a''^2)\log\frac{a''+p''}{a'+p'}(q''^2-a''^2)\log\frac{a''+q''}{a'+q'}\right\}.$$

---

*) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. III, Abhandlung X, Beilage D.]

ergeben, dass die gesuchte *Aenderung des magnetischen Momentes* der Stäbe No. I und II, welche bei ihrer Umkehrung durch die *erdmagnetische Kraft* hervorgebracht wurde,

$$2M = 390000$$
$$2M' = 372000$$

betrug. Die *erdmagnetische Kraft* aber, durch welche diese Aenderung im magnetischen Momente des Stabes No. I und II hervorgebracht wurde,

---

(Wenn hierin $\beta$ gegen $\gamma$ verschwindet, so erhält man folgenden von $\beta$ unabhängigen Ausdruck, worin $a' = c'\sqrt{a'^2 + \frac{1}{4}\gamma^2}$, $a'' = c''\sqrt{a''^2 + \frac{1}{4}\gamma^2}$ gesetzt ist,

$$-\frac{2\pi mn}{a''-a'}\left\{c''-c'+\tfrac{1}{4}\left(\frac{c''^2}{a''^2(1+c'')}-\frac{c'^2}{a'^2(1+c')}\right)\gamma^2+2\log\frac{a''(1+c'')c'}{a'(1+c')c'}\right\}.$$

Hiernach würde sich die *Induktion* für einen Magneten, dessen Dimensionen gegen die der Induktorrolle sehr klein wären, *genau* bestimmen lassen. — Wenn ausserdem noch $a''/\gamma$ ein kleiner Bruch wäre, so würde die *Induktion* ganz einfach durch $-8\pi mn/\gamma$ bestimmt werden.)

Im vorliegenden Falle, wo die Länge des Magnetes der Länge der Induktorrolle $\gamma$ fast gleich war, kann nach der *idealen* Vertheilung des Magnetismus das magnetische Moment $m$ durch eine Vertheilung der beiden magnetischen Fluida entstanden gedacht werden, bei welcher der Werth von $\beta$ in Beziehung auf die verschiedenen Theile dieser Fluida von 0 bis zur Länge des ganzen Magnetes $\gamma$ wächst. Nimmt man daher für $\beta$ näherungsweise einen Mittelwerth zwischen 0 und $\gamma$, z. B. $\beta = \frac{1}{2}\gamma$, so findet man die elektro-motorische Kraft, wenn $\sqrt{a'^2+\gamma^2} = A'$ und $\sqrt{a''^2+\gamma^2} = A''$ geschrieben wird,

$$= -\frac{4\pi mn}{\gamma^2(a''-a')}\left\{a''(A''-a'') - a'(A'-a') + \gamma^2\log\frac{A''+a''}{A'+a'}\right\}$$

oder, wenn man die oben angeführten Werthe $a' = 10{,}5$, $a'' = 39{,}6$, $\gamma = 151$ substituirt, $= -0{,}1413 \cdot nm$.

Diese elektro-motorische Kraft ist aber oben für den Stab No. I, für welchen $2m = 2M$ die Aenderung seines magnetischen Momentes bei der Umdrehung bezeichnen möge, mit $M_i$, für den Stab No. II, für welchen $2m = 2M'$ die Aenderung seines magnetischen Momentes bei der Umdrehung bezeichnen möge, mit $M'_i$ bezeichnet worden, woraus sich also ergiebt

$$M_i = 0{,}1413 \cdot nM \qquad M'_i = 0{,}1413 \cdot nM'.$$

Nun ist aber oben schon gefunden worden

$$M_i = 29251 \cdot n \qquad M'_i = 28458 \cdot n,$$

folglich ist das bei Umdrehung der Stäbe No. I und II umgekehrte magnetische Moment

$$M = \frac{29251}{0{,}1413} = 207000;\; M' = \frac{28458}{0{,}1413} = 201400.$$

*Zweite Bestimmung aus der Vergleichung mit der Induktionswirkung eines bestimmten beharrlichen Magnetes.* — Es wurde zu dieser Vergleichung der *beharrliche* Magnetismus der Stäbe No. I und II benutzt, welcher mit $B$ und $B'$ bezeichnet werden soll, wofür nach absolutem Maasse folgende Werthe gefunden worden waren:

$$B = 19100000 \qquad B' = 19000000.$$

war der Unterschied des *vertikalen Erdmagnetismus* von seinem entgegengesetzt gleichen Werthe, oder, wie schon angeführt worden ist,

$$2T \text{ tang } i = 2 \cdot 1{,}8014 \cdot \text{tang } 67^0\ 17'\ 40'' = 8{,}6106.$$

Hieraus würde sich unter der Voraussetzung, dass die Grösse des magnetischen Momentes mit der Kraft, von der es hervorgebracht wird, stets proportional wüchse, ergeben, dass der *ganze beharrliche Magnetismus* der Stäbe No. I und II, welcher in der Note mit $B$ und $B'$ bezeichnet worden ist,

im Stabe No. I durch eine Kraft $= 422$
im Stabe No. II durch eine Kraft $= 440$

hätte erzeugt werden können, eine Kraft, deren Wirkung der Wirkung der *Koercitivkraft* gleich zu setzen ist, durch die der Magnetismus in jenen Stäben beharrlich erhalten wird.

Wendet man endlich auf die cylindrischen Stäbe No. I und II, welche 12,6 Millimeter dick und 153,4 Millimeter lang waren, näherungsweise die von Neumann in Crelle's „Journal für die reine und

---

Bei den Beobachtungen der von diesem *beharrlichen* Magnetismus hervorgebrachten Induktionswirkungen erhielt die Induktorrolle eine feste gegen den magnetischen Meridian senkrechte Aufstellung, während der Magnet mit einem hölzernen Handgriffe versehen wurde, mit dem er leicht in die Mitte der Rolle hinein und herausgeschoben werden konnte. Die einzelnen Induktionsstösse erfolgten dann jedesmal in dem Augenblicke, wo die schwingende Magnetometernadel den magnetischen Meridian passirte, und bestanden darin, dass der in der Mitte der Rolle befindliche Stab schnell herausgezogen und in umgekehrter Lage von dem anderen Ende der Rolle aus wieder in die Mitte der Rolle hineingeschoben ward. Aus diesen Beobachtungen ergab sich die Induktionswirkung des beharrlichen Magnetismus der Stäbe No. I und II:

$$B_i = 161{,}8\ T_i \qquad B'_i = 168{,}7\ T_i,$$

während die Induktionswirkungen der Aenderungen im magnetischen Momente der Stäbe No. I und II oben

$$M_i = 1{,}549\ T_i \qquad M'_i = 1{,}507\ T_i$$

gefunden worden sind. Doch ist hierbei zu bemerken, dass die Induktionswirkungen des beharrlichen Magnetismus zu stark waren, um mit dem nämlichen Galvanometer ohne Einschaltung eines grösseren Widerstandes gemessen zu werden; obige Resultate sind daher durch eine Reduktion der Beobachtungen erhalten worden, durch welche die Sicherheit dieser Werthe etwas vermindert wurde. Aus der Proportionalität des inducirenden Magnetismus mit seiner Induktionswirkung ergiebt sich sodann

$$M_i : B_i = M : B = 1{,}549 : 161{,}8$$
$$M'_i : B'_i = M' : B' = 1{,}507 : 168{,}7,$$

folglich ist aus dieser *zweiten* Bestimmung

$$M = 183000 \qquad M' = 170000$$

oder im Mittel aus *beiden* Bestimmungen

$$M = 195000 \qquad M' = 186000.$$

angewandte Mathematik", Band 37, für ellipsoidische Stäbe aufgestellte Regel an, indem man für den Cylinder ein Rotations-Ellipsoid von gleichem Rauminhalte setzt, dessen Axen sich wie 12,6 : 153,4 verhalten, so erhält man folgende Gleichungen:

$$M = \frac{kv}{1 + 4\pi Sk} \cdot T \operatorname{tang} i$$

$$M' = \frac{k'v}{1 + 4\pi Sk'} \cdot T \operatorname{tang} i,$$

worin $k$, $k'$ die Werthe der NEUMANN'schen *magnetischen Konstante* bezeichnen, oder die *Grenzwerthe* der von der Einheit der magnetischen Kraft hervorgebrachten Aenderung des magnetischen Momentes in der Volumeneinheit des Stahles, denen man sich desto mehr nähert, je mehr man die Dicke des Stabes gegen seine Länge verschwinden lässt.

$v$ bezeichnet den Rauminhalt $= \frac{\pi}{4} \cdot 12{,}6^2 \cdot 153{,}4$, und ist folglich

$$v = 19128.$$

$S$ bezeichnet einen von dem Verhältnisse der beiden Axen des Ellipsoids abhängigen Faktor, nämlich, wenn

$$\sigma = \frac{153{,}4}{\sqrt{153{,}4^2 - 12{,}6^2}} = 1{,}00339,$$

$$S = \sigma(\sigma^2 - 1)\left\{\tfrac{1}{2}\log\frac{\sigma+1}{\sigma-1} - \frac{1}{\sigma}\right\} = 0{,}01495.$$

Hieraus ergiebt sich der Werth der *magnetischen Konstante für den glasharten und schon magnetisirten Stahl,* im Mittel aus den Beobachtungen der Stäbe No. I und II,

$$k = 4{,}091.$$

Zur Vergleichung hiermit mögen noch *erstens* die Resultate angeführt werden, welche durch ganz ähnliche Versuche mit denselben *glasharten Stahlstäben* No. I und II erhalten worden sind, *ehe sie magnetisirt wurden.* Es ergab sich nämlich, dass die Induktionswirkung bei gemeinschaftlicher Umdrehung mit der Induktionsrolle für den Stab No. I, als er noch keinen beharrlichen Magnetismus besass und als er den beharrlichen Magnetismus $= B$ besass, sich verhielt wie 1,723 : 1,549, und für den Stab No. II, als er noch keinen beharrlichen Magnetismus besass und als er den beharrlichen Magnetismus $= B'$ besass, sich verhielt wie 1,660 : 1,507. Hieraus folgt der Werth der *magnetischen Konstante für glasharten Stahl, der keinen beharrlichen Magnetismus besitzt,* im Mittel aus den Beobachtungen der Stäbe No. I und II,

$$k = 4{,}934.$$

*Zweitens* für einen Stab von *derselben Stahlsorte* und fast gleichen Dimensionen als die Stäbe No. I und II (er war 153,4 Millimeter lang, 12,85 Millimeter dick und seine Masse war = 157500 Milligramm) *von weichem Stahle* ergab sich das Verhältniss der Induktionswirkung bei gemeinschaftlicher Umdrehung desselben mit der Induktorrolle zu dem für die *glasharten* Stäbe No. I und II gefundenen Mittelwerthe, als dieselben noch keinen beharrlichen Magnetismus besassen, wie 1,8487 : 1,6915. Hieraus folgt der Werth der *magnetischen Konstante für weichen Stahl*

$$k = 5,61.$$

*Drittens* ergab sich für einen Stab von *weichem Eisen*, welcher 153,1 Millimeter lang, 11,5 Millimeter dick und dessen Masse = 125020 Milligramm war, das Resultat, dass die Induktionswirkung bei gemeinschaftlicher Umdrehung desselben mit der Induktorrolle sich zu der des vorhergehenden *weichen Stahlstabes* verhielt wie 2,868 : 1,8487. Hieraus folgt der Werth der *magnetischen Konstante für weiches Eisen*

$$k = 35,64.$$

Dieses Resultat gilt zunächst blos von der hier gebrauchten *Eisensorte* und es fragt sich noch, ob nicht grössere Unterschiede im Werthe dieser Konstanten zwischen *verschiedenen* Eisensorten vorkommen. In der That hatte sich aus früheren Versuchen, welche in den „Elektro-dynamischen Massbestimmungen" S. 577[1]) beschrieben worden sind, der Werth der magnetischen Konstante für weiches Eisen $k = 43,57$ ergeben; abgesehen aber davon, dass sich diese Angabe auf eine ganz andere Eisensorte bezieht, war dort, auf ganz anderem Wege, der durch sehr *grosse* (180 bis 740 Mal grössere als die hier gebrauchten) *Kräfte* im Eisen erzeugte Magnetismus beobachtet und daraus eine *Regel* abgeleitet worden, welche auch zur Berechnung des durch *kleinere* Kräfte erzeugten Magnetismus und zur Berechnung des Werthes der magnetischen Konstante benutzt wurde. Es leuchtet aber ein, dass eine Anwendung einer solchen *Regel,* so fern von dem Kreise der Beobachtungen, auf welchen sie beruht, keine vollkommene Sicherheit gewähren kann. Eine nähere Prüfung, welche Unterschiede im Werthe der magnetischen Konstante für *verschiedene Eisensorten* wirklich vorkommen, muss daher künftigen Untersuchungen vorbehalten werden.

Bei der Feinheit der Beobachtungen, welche die beschriebene Induktionsmethode gestattete, wurde endlich *viertens* auch noch der Versuch gemacht, ob nicht auf diese Weise auch eine Aenderung des Magnetismus bei *Krystallen von Magneteisenstein* durch den Erdmagnetismus wahrgenommen werden könne, wenn dieselben vor der Erde

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. III, Abhandlung XI.]

gedreht werden. Es wurden drei grosse Krystalle von Magneteisenstein untersucht, welche Herr Geheime Hofrath Hausmann die Güte gehabt hatte aus seiner Privatsammlung zu diesem Zwecke zu leihen, und es wurde eine besondere mit dem Induktordrahte umwundene Kapsel angefertigt, in deren Mitte die Krystalle bei Ausführung der Versuche fest eingeschlossen werden konnten. Es ergab sich aus einer mit dem grössten dieser drei Krystalle, welcher 9760 Kubikmillimeter Rauminhalt und 48260 Milligramm Masse hatte, ausgeführten Versuchsreihe eine *Aenderung* seines Magnetismus nach absolutem Maasse durch die Einheit des Erdmagnetismus

$$= 2400,$$

während der *beharrliche* Magnetismus, welchen dieser Krystall durch starke Magnetisirung annahm,

$$= 317700$$

gefunden wurde. Ein ganz ähnliches Resultat lieferten auch die beiden kleineren Krystalle.

Dieses Resultat ist darum merkwürdig, weil dadurch die Ansicht widerlegt wird, dass die Ursache von der Aenderung des Magnetismus in Körpern von grosser Koercitivkraft durch kleine Kräfte darin liege, dass diese Körper weiche Eisentheilchen (oder überhaupt Theilchen von sehr geringer Koercitivkraft) eingeschlossen enthielten. Wäre eine solche Beimischung der wahre Grund jener Aenderung, so dürften in einem *homogenen* Körper, wie die zuletzt untersuchten Krystalle, wo allen Theilchen eine gleiche Koercitivkraft zugeschrieben werden muss, solche Aenderungen gar nicht Statt finden. Lehrt nun aber die Erfahrung, dass sie dennoch Statt finden, so lässt sich daraus folgern, dass überhaupt die Annahme unrichtig sein müsse, wonach die *Magnetisirung* der Körper auf *Scheidung* magnetischer Fluida in ihren Molekulen, und der *beharrliche* Magnetismus der Körper auf ihrer *Koercitivkraft* beruht. Es ergiebt sich also daraus ein neuer Grund, auf Ampère's Annahme zurückzukommen, wonach die *Magnetisirung* der Körper *nicht auf Scheidung* magnetischer Fluida in ihren Molekulen, sondern auf *Drehung ihrer Molekule* beruht. Denn nach dieser letzteren Annahme befindet sich jedes Molekule, wenn keine äusseren Kräfte darauf wirken, sowohl in Beziehung auf seinen *Ort*, als auch in Beziehung auf seine *Lage* (Richtung seiner magnetischen Axe) in einem durch *alle Kräfte der molekularen Wechselwirkung* bedingten *stabilen Gleichgewichte,* welches durch die *geringste magnetische Kraft,* die von aussen darauf wirkt und ein Drehungsmoment auf die einzelnen Molekule ausübt, gestört werden müsse, und sich unter dem Einflusse dieser äusseren Kraft nur nach einer, wenn auch noch so wenig, veränderten *Lage* der Molekule oder

*Richtung* ihrer magnetischen Axen wieder herstellen könne, womit nothwendig eine Aenderung des Magnetismus des Körpers verbunden ist, wonach also *die Aenderung des Magnetismus durch die geringsten Kräfte* nicht blos möglich, sondern nothwendig erscheint. Nach AMPÈRE's Annahme findet also zwischen *Beharrlichkeit* eines Theiles und *Veränderlichkeit* eines anderen Theiles des Magnetismus eines und desselben Körpers auch bei *vollkommener Homogeneität* kein Widerspruch Statt. Der Unterschied zwischen *hartem* Stahl und *weichem* Eisen, den man sonst in der *Koercitivkraft* suchte, ist aber nach AMPÈRE darin zu setzen, dass es für die *Eisenmolekule* nur eine *einzige* stabile Gleichgewichtslage, für die *Stahlmolekule* dagegen *mehrere* giebt, und dass beim Stahle durch grössere Kräfte eine grössere Anzahl Molekule aus ihrer *ursprünglichen Gleichgewichtslage* so weit entfernt werden können, dass sie nicht wieder in dieselbe zurückkehren, sondern *zu einer anderen Gleichgewichtslage umschlagen.*

## II. *Bestimmung der rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen von 1834—1853.*

Die im vorigen Abschnitte betrachtete Veränderlichkeit des Stabmagnetismus hat auf die Messung des Erdmagnetismus Einfluss, weil bei dieser Messung die *Schwingungsdauer* des Ablenkungsstabes und das von ihm auf eine Hülfsnadel (Magnetometer) ausgeübte *Drehungsmoment* bei verschiedener Lage beobachtet wird, erstere nämlich während der schwingende Ablenkungsstab dem magnetischen Meridiane *parallel*, letzteres während der fest aufgestellte Ablenkungsstab *senkrecht* gegen den magnetischen Meridian gerichtet ist. Weil nun der Magnetismus des Stabes in diesen beiden Lagen verschieden ist, so leuchtet die Nothwendigkeit einer Reduktion dieser Beobachtungen ein, ehe sie zur Berechnung des Erdmagnetismus gebraucht werden können. So klein nun auch der daraus entspringende Einfluss auf das Resultat der Messung ist, so sollen hier doch die im vorigen Abschnitte über die *Veränderlichkeit des Stabmagnetismus* gewonnenen Resultate zur näheren Bestimmung dieses Einflusses in Anwendung gebracht und daran die Uebersicht der bisher gefundenen Werthe der *magnetischen Elemente in Göttingen nebst ihren sekularen Variationen* geknüpft werden.

Die im 5. Bande dieser Abhandlungen mitgetheilten *Inklinationsmessungen*[1]) haben durch Vergleichung mit den früheren von HUMBOLDT und GAUSS ausgeführten Messungen für die Inklination in *Göttingen* am Anfange des Jahres 1850 den Werth von 67° 23′ 43″ ergeben, mit der *jährlichen Abnahme* von 2′ 2,29″ und mit der *jährlichen Verminderung*

[1]) [Siehe die vorhergehende Abhandlung.]

dieser Abnahme um 1,337″, wonach sich die Inklination $i$ am Anfang des Jahres $t$ durch folgende Gleichung darstellen lässt:

$$i = 67^0\, 23'\, 43'' - 122{,}29'' \cdot (t - 1850) + 1{,}337''\, (t - 1850)^2.$$

Ebenso hat sich aus den unter der Leitung von Gauss im magnetischen Observatorium zu Göttingen ausgeführten und für den Zeitraum von April 1834 bis März 1845 vom Professor Goldschmidt berechneten *Deklinationsbeobachtungen* für die Deklination in *Göttingen* zu Michaelis 1834 der Werth von 18° 39′ 32,16″ (westlich) ergeben, mit der *jährlichen Abnahme* von 3′ 7,77″ und mit dem *jährlichen Wachsthume* dieser Abnahme um 14,61″, wonach sich die Deklination $\delta$ am Anfange des Jahres $t$ durch folgende Gleichung darstellen lässt:

$$\delta = 18^0\, 39'\, 32{,}16'' - 187{,}77'' \cdot (t - 1834{,}75) - 14{,}61''\, (t - 1834{,}75)^2.$$

Zu einer vollständigen Kenntniss aller magnetischen Elemente in Göttingen wäre es endlich erforderlich und wünschenswerth, dass auch für die *horizontale Intensität* in Göttingen ausser der Bestimmung ihres Werthes für ein bestimmtes Jahr auch der diesem Jahre entsprechende Werth der *jährlichen Aenderung*, nebst deren *jährlicher Zunahme oder Abnahme,* gegeben wäre, was aber jetzt, wo kaum 20 Jahre seit der ersten Ausführung einer Intensitätsmessung nach absolutem Maasse verflossen sind, noch nicht möglich ist. Es reicht indessen dieser 20jährige Zeitraum doch hin, um ausser dem Werthe der *horizontalen Intensität* für ein bestimmtes Jahr auch die *jährliche Aenderung* nach ihrem Mittelwerthe für diesen Zeitraum zu bestimmen. Dazu können folgende von Professor Goldschmidt in den „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1840“, S. 155, zusammengestellte Resultate der bisherigen Messungen benutzt werden.

| Zeit. | Horizontale Intensität in Göttingen. |
|---|---|
| 1834 Juli 19. | 1,77480, |
| 1839 Sept. 10. | 1,78200, |
| 1840 Sept. 10. | 1,78173, |
| 1841 Aug. 1. | 1,78477. |

Es fehlt nur noch an einer in den letzt verflossenen Jahren ausgeführten Messung, um den Werth der *jährlichen Zunahme* der horizontalen Intensität, die schon in den angeführten Resultaten deutlich hervortritt, genauer zu bestimmen.

Eine solche Messung der horizontalen Intensität habe ich nun im Juli 1853 gemacht und habe dabei die beiden Magnetstäbe als Ablenkungsstäbe benutzt, deren *veränderlicher Magnetismus* im vorhergehenden Abschnitte untersucht worden ist, wodurch es möglich wurde, den wenn auch geringen Einfluss, welchen dieser *veränderliche Magnetismus* auf das Resultat der Messung hat, in Rechnung zu bringen.

Ohne hier auf das Detail dieser neuen Messung einzugehen, bemerke ich nur, dass zur Hervorbringung der *Ablenkung* die beiden eben erwähnten Magnetstäbe immer zugleich benutzt wurden und zwar so, dass sie auf entgegengesetzten Seiten der Magnetometernadel in einer gegen den magnetischen Meridian senkrechten Richtung immer ganz symmetrisch, aber mit gleichgerichteten Polen, lagen. Die Beobachtungen der *Schwingungsdauer* dieser beiden Ablenkungsstäbe wurden so angeordnet, dass die des einen Stabes den Ablenkungsversuchen unmittelbar vorausgingen, die des anderen den Ablenkungsversuchen unmittelbar folgten. — Die Entfernung der Mitte der beiden Ablenkungsstäbe östlich und westlich von der Mitte der Magnetnadel (welche 100 Millimeter lang war) betrug bei den verschiedenen Ablenkungsversuchen entweder 800,455 Millimeter oder 600,39 Millimeter. Die bei der *ersteren* Entfernung von beiden Stäben hervorgebrachte Ablenkung ist in der folgenden Tafel mit $v$, die bei der *letzteren* Entfernung mit $v'$ bezeichnet; die unmittelbar vor und nach diesen Ablenkungen beobachteten Schwingungsdauern der beiden Stäbe mit $t'$ und $t''$. Die *Trägheitsmomente* der beiden schwingenden Stäbe nebst Spiegel und Schiffchen waren = 304769000 und = 305659000 gefunden worden, Millimeter und Milligramm zu Raum- und Massenmaass genommen. In der letzten Kolumne der folgenden Tafel sind endlich die aus gleichzeitigen Beobachtungen des Bifilarmagnetometers gefundenen Intensitätsvariationen beigefügt worden, welche zwei Tage lang, von Juli 28. $22^h$ bis Juli 30. $22^h$, von zwei zu zwei Stunden wiederholt für diesen ganzen Zeitraum folgenden Mittelwerth ergaben:

Juli 29. $22^h$ . . . 1,00405.

## Tafel

*der beobachteten Ablenkungen und Schwingungsdauern.*

*Göttingen, 1853.*

| Zeit | Ablenkungen $v$ | Ablenkungen $v'$ | Schwingungsdauer $t'$ | Schwingungsdauer $t''$ | Intensitäts-variation |
|---|---|---|---|---|---|
| Juli 28. $21^h$ | $4^0\ 12'\ 23''$ | $9^0\ 56'\ 6''$ | $9{,}5516^s$ | $10{,}3722^s$ | 1,00344 |
| „ 28. $23^h$ | $4^0\ 11'\ 40''$ | $9^0\ 54'\ 29''$ | $9{,}5516^s$ | $10{,}4014^s$ | 1,00372 |
| „ 29. $1^h$ | $4^0\ 11'\ 12''$ | $9^0\ 53'\ 25''$ | $9{,}5506^s$ | $10{,}4014^s$ | 1,00450 |
| „ 29. $3^h$ | $4^0\ 11'\ 10''$ | $9^0\ 53'\ 48''$ | $9{,}5506^s$ | $10{,}3934^s$ | 1,00430 |
| „ 29. $19^h$ | $4^0\ 13'\ 22''$ | $9^0\ 57'\ 33''$ | $9{,}5354^s$ | $10{,}3634^s$ | 1,00245 |
| „ 29. $21^h$ | $4^0\ 13'\ 6''$ | $9^0\ 57'\ 10''$ | $9{,}5354^s$ | $10{,}3710^s$ | 1,00273 |
| „ 29. $23^h$ | $4^0\ 12'\ 53''$ | $9^0\ 56'\ 47''$ | $9{,}5329^s$ | $10{,}3710^s$ | 1,00335 |
| „ 30. $1^h$ | $4^0\ 12'\ 34''$ | $9^0\ 56'\ 31''$ | $9{,}5329^s$ | $10{,}3787^s$ | 1,00282 |
| „ 30. $3^h$ | $4^0\ 11'\ 56''$ | $9^0\ 54'\ 41''$ | $9{,}5411^s$ | $10{,}3787^s$ | 1,00371 |
| „ 30. $5^h$ | $4^0\ 11'\ 51''$ | $9^0\ 54'\ 54''$ | $9{,}5411^s$ | $10{,}3815^s$ | 1,00425 |
| „ 30. $19^h$ | $4^0\ 13'\ 28''$ | $9^0\ 58'\ 35''$ | $9{,}5291^s$ | $10{,}3507^s$ | 1,00312 |
| „ 30. $21^h$ | $4^0\ 13'\ 27''$ | $9^0\ 57'\ 54''$ | $9{,}5291^s$ | $10{,}3697^s$ | 1,00268. |

Fügt man endlich die aus den Beobachtungen des ersten Abschnittes erhaltene Bestimmung hinzu, dass nämlich die Stärke des Magnetismus eines der beiden Ablenkungsstäbe durch jede Einheit der nach der magnetischen Stabaxe gerichteten Komponente der erdmagnetischen Kraft im Mittel um

$$c = \tfrac{1}{2}\,\frac{390\,000 + 372\,000}{8{,}6106} = 44\,250 \text{ Einheiten}$$

wachse, und setzt ferner

$$\frac{800{,}455^5 \cdot \operatorname{tang} v - 600{,}39^5 \cdot \operatorname{tang} v'}{2\,(800{,}455^2 - 600{,}39^2)} = a,$$

$$\pi^2 \cdot \left(\frac{304\,769\,000}{t'^2} + \frac{305\,659\,000}{t''^2}\right) = b,$$

so erhält man die horizontale Intensität des Erdmagnetismus $T$ und den Magnetismus der Ablenkungsstäbe $M'$ und $M''$

$$T = \sqrt{\frac{b}{a + 2c}},$$

$$M' = \frac{304\,769\,000}{t'^2} \cdot \frac{\pi^2}{T} - cT,$$

$$M'' = \frac{305\,659\,000}{t''^2} \cdot \frac{\pi^2}{T} - cT.$$

Hiernach sind die Werthe von $T$, $M'$ und $M''$ in folgender Tafel berechnet worden. Die so gefundenen in der zweiten Kolumne angeführten Werthe von $T$ lassen sich nun noch leicht mit Hülfe der beobachteten Intensitätsvariationen so reduciren, dass sie dem Mittelwerthe der in dem Zeitraume von Juli 28. $22^h$ bis Juli 30. $22^h$ beobachteten Intensitätsvariationen entsprechen, und sind nach dieser Reduktion in der 5. Kolumne angegeben. In der letzten Kolumne ist der Unterschied der einzelnen Werthe der vorigen Kolumne von ihrem Mittelwerthe bemerkt.

*Berechnete Werthe der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus T und des Magnetismus der Ablenkungsstäbe M' und M''.*

| Zeit Göttingen 1853. | $T$ mit Variation | $M'$ | $M''$ | $T$ ohne Variation | Unterschied |
|---|---|---|---|---|---|
| Juli 28. $21^h$ | 1,80010 | 18235900 | 15497800 | 1,80122 | — 0,00022 |
| „ 28. $23^h$ | 1,80043 | 18232500 | 15407600 | 1,80105 | — 0,00039 |
| „ 29. $1^h$ | 1,80224 | 18218000 | 15392100 | 1,80145 | — 0 |
| „ 29. $3^h$ | 1,80354 | 18204800 | 15390500 | 1,80313 | + 0,00168 |
| „ 29. $19^h$ | 1,79730 | 18326800 | 15548600 | 1,80020 | — 0,00124 |
| „ 29. $21^h$ | 1,79811 | 18318500 | 15518700 | 1,80051 | — 0,00093 |
| „ 29. $23^h$ | 1,79937 | 18315300 | 15507700 | 1,80066 | — 0,00078 |
| „ 30. $1^h$ | 1,80082 | 18300500 | 15472100 | 1,80306 | + 0,00161 |
| „ 30. $3^h$ | 1,80152 | 18261800 | 15466100 | 1,80214 | + 0,00069 |
| „ 30. $5^h$ | 1,80241 | 18252700 | 15450000 | 1,80208 | + 0,00063 |
| „ 30. $19^h$ | 1,80019 | 18321500 | 15561800 | 1,80189 | + 0,00044 |
| „ 30. $21^h$ | 1,79746 | 18349500 | 15528200 | 1,79995 | — 0,00149 |
| | | | Mittel | 1,801445. | |

Es war also die *horizontale Intensität in Göttingen*

im Jahre 1853 Juli 29. $22^h$, $T = 1{,}801445$,

befreiet von dem Einfluss der unregelmässigen und der regelmässigen täglichen Variationen, nämlich so, wie sie dem Mittelwerthe der von Juli 28. $22^h$ bis Juli 30. $22^h$ beobachteten Variationen entspricht.

Es lassen sich nun hiermit die oben angeführten Resultate der früheren Intensitätsmessungen vergleichen; nur ist es nöthig, den Einfluss, welchen die Veränderlichkeit des Nadelmagnetismus hat, bei den früheren Messungen eben so wie bei der letzten in Rechnung zu bringen, was unter der Annahme geschehen kann, dass der Stahl der zu den früheren Messungen gebrauchten Ablenkungsstäbe, in Beziehung auf beharrlichen und veränderlichen Magnetismus, von dem Stahl der zuletzt gebrauchten Ablenkungsstäbe nicht wesentlich verschieden sei.

Setzt man nämlich demgemäss das Verhältniss des mit $c$ bezeichneten veränderlichen Magnetismus zu dem beharrlichen Magnetismus $M$ bei den früheren Ablenkungsstäben dem für die letzteren gefundenen gleich, d. i.

$$\frac{c}{M} = \frac{44250}{19050000} = \frac{1}{430},$$

so müssen die durch die früheren Messungen gefundenen Werthe von $T$ mit

$$\left(1 - \frac{c}{M} T\right) = \left(1 - \frac{1}{430} T\right)$$

multiplicirt werden, woraus sich folgende Resultate ergeben:

| | | |
|---|---|---|
| 1834 | Juli 19. | $T = 1{,}76747$, |
| 1839 | Sept. 10. | $T = 1{,}77462$, |
| 1840 | Sept. 10. | $T = 1{,}77435$, |
| 1841 | Aug. 1. | $T = 1{,}77736$. |

Fügt man noch das Resultat der letzten Messung hinzu, nämlich:

1853 Juli 29. $T = 1{,}80144$,

so ergiebt sich aus der Vergleichung der ersten und letzten die *horizontale Intensität in Göttingen* 1844 Jan. 24., $T = 1{,}784455$ mit der *jährlichen Zunahme* $= 0{,}001785$, d. i. nahe $^1/_{10}$ Procent, wonach sich die horizontale Intensität in Göttingen $T$ am Anfang des Jahres $t$ durch folgende Gleichung darstellen lässt:

$$T = 1{,}784455 + 0{,}001785\,(t - 1844{,}066).$$

Berechnet man nun für die nämliche Zeit (1844 Jan. 24.) nach den oben angeführten Formeln die Deklination und Inklination und deren jährliche Aenderung, so erhält man die *Deklination* $= 17^0\,49'\,15{,}36''$ mit

der *jährlichen Abnahme* = — 7′ 39,95″; die *Inklination* = 67° 36′ 35,75″ mit der *jährlichen Abnahme* = — 2′ 18,16″, wonach sich die Deklination $\delta$ und die Inklination $i$ in Göttingen im Anfange des Jahres $t$ auf ähnliche Weise wie die horizontale Intensität $T$ darstellen lassen, nämlich durch folgende Gleichungen:

$$\delta = 17^\circ\, 49'\, 15{,}36'' - 459{,}95'' \cdot (t - 1844{,}066),$$
$$i = 67^\circ\, 36'\, 35{,}75'' - 138{,}16'' \cdot (t - 1844{,}066).$$

Die *ganze Intensität* erhält man hieraus für die nämliche Zeit (1844 Jan. 24) = 4,684726 mit der *jährlichen Abnahme* = — 0,002931. Endlich werden daraus folgende Formeln für *die drei rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen* abgeleitet:

$$X = 1{,}698833 + 0{,}002917 \cdot (t - 1844{,}066),$$
$$Y = 0{,}546117 - 0{,}003242 \cdot (t - 1844{,}066),$$
$$Z = 4{,}331558 - 0{,}003906 \cdot (t - 1844{,}066).$$

### III. *Reduktion der Variationsbeobachtungen des horizontalen Erdmagnetismus durch korrespondirende Beobachtungen des Stabmagnetismus beim Bifilar-Magnetometer.*

Die Beobachtungen der Intensität des *horizontalen Erdmagnetismus* an einem Orte lassen sich in zwei Klassen theilen, nämlich in solche, durch welche die *absolute Intensität* zu einer gewissen Zeit für sich allein bestimmt wird, und in solche, durch welche *die Intensitäten zu verschiedenen Zeiten nur verglichen werden.* Die letzteren heissen, wenn sie in kürzeren Zwischenzeiten ausgeführt werden, die *Variationsbeobachtungen* des horizontalen Erdmagnetismus und werden mit dem *transversal gestellten Bifilar-Magnetometer* gemacht, womit aber Beobachtungen des *Thermometers* verbunden werden müssen, wegen der *Veränderungen,* welche der *Magnetismus der Nadel* durch die *Temperatur* erleidet. In der That erleidet der *Stabmagnetismus* (durch die Temperatur) mit der Zeit verhältnissmässig oft eben so grosse Veränderungen, als die für den *Erdmagnetismus* beobachteten, und es findet zwischen beiden nur der Unterschied statt, dass jene gewöhnlich sehr langsam, diese häufig sehr schnell wechseln. Es genügt zum Beispiel *ein Temperaturwechsel von 4—5 Graden* im Laufe eines Tages, um eine *Variation des Stabmagnetismus* hervorzubringen, die eben so gross ist, wie die *tägliche Variation des Erdmagnetismus.* Hieraus folgt, dass die am Bifilar-Magnetometer unmittelbar beobachteten Variationen ihren Ursprung fast gleichmässig in Variationen des *Stabmagnetismus* wie in Variationen des *Erdmagnetismus* haben, und dass folglich aus den Beobachtungen des *Bifilar-Magnetometers,* auch wenn man *die aus den Temperaturbeobach-*

*tungen so genau wie möglich abgeleiteten Variationen des Stabmagnetismus* in Abrechnung bringt, die *Variationen der Intensität des Erdmagnetismus* doch bei weitem nicht mit solcher Sicherheit erhalten werden können, wie die *Variationen der Deklination* aus den Beobachtungen des *Unifilar-Magnetometers;* denn dazu lassen sich die Variationen des *Stabmagnetismus aus den beobachteten Temperaturen* nicht genau genug bestimmen. Es ist daher schon in den „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1840“ ein Vorschlag, *die Variationen des Stabmagnetismus beim Bifilar-Magnetometer unabhängig von der Temperatur zu bestimmen,* gemacht worden,[1]) der aber bisher noch zu keiner praktischen Ausführung und Anwendung gekommen zu sein scheint. Hiervon liegt wahrscheinlich der Grund theils in den dazu erforderlichen Einrichtungen, theils aber auch darin, dass die Variationen des *Stabmagnetismus,* wenn sie auch eben so gross sind wie die des *Erdmagnetismus,* doch gewöhnlich, wie schon erwähnt worden, sehr langsam und allmählig eintreten und daher in allen Fällen sehr *schnell wechselnder erdmagnetischer Variationen* für die kurze Dauer dieser letzteren wenig in Betracht kommen. Gerade diese Fälle aber haben bisher vorzugsweise bei den magnetischen Beobachtungen die Aufmerksamkeit gefesselt, z. B. die Erscheinungen der *magnetischen Gewitter*, welche gleichzeitig mit Nordlichtern beobachtet werden. Zur Erforschung solcher Variationen genügen die Beobachtungen des *Bifilar-Magnetometers* allein und man bedarf dabei nicht einmal der *Temperaturbeobachtungen.* Auch in den gewöhnlichen magnetischen Terminen sind es in der Regel solche *schnell wechselnde Variationen,* welche, wenn sie auch kleiner sind, doch vorzugsweise interessiren, besonders durch ihre genaue Korrespondenz an weit entfernten Orten, und bei deren Beobachtung mit dem *Bifilar-Magnetometer* die Variationen des *Stabmagnetismus* aus gleichem Grunde nicht in Betracht gezogen zu werden brauchen.

Anders verhält es sich aber, wenn die Variationen zu dem Zwecke beobachtet werden sollen, um magnetische Messungen, die an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Tageszeiten gemacht worden sind, auf einander zu *reduciren,* um sie an einander zu prüfen oder zu genauen *Mittelwerthen* zu verbinden.

Der schon früher gemachte Vorschlag, um diesem Zwecke vollständig zu genügen, besteht in einer Anwendung des Princips, auf welchem die Methode der *absoluten Intensitätsmessung* beruht, nämlich darin, dass man mit der Beobachtung des *Bifilar-Magnetometers,* welche den *Erdmagnetismus* durch sein *Produkt* in den *Stabmagnetismus* bestimmt, die Beobachtung einer *Hülfsnadel* gleichzeitig verbindet, welche

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 190.]

den *Erdmagnetismus* durch sein *Verhältniss* zu dem aus gegebener Ferne wirkenden *Stabmagnetismus* kennen lehrt.

Soll nun die Ausführung dieses Vorschlages allen Bedürfnissen, so wie der Bequemlichkeit des täglichen Gebrauches und der Feinheit des ganzen Instrumentes entsprechen, so muss zweierlei vorausgesetzt werden können, nämlich ein *Bifilar-Magnetometer* 1. mit sehr *starker* Nadel, 2. mit sehr *hoher Aufhängung*.

Die Nadel des *Bifilar-Magnetometers* muss so *stark* sein, dass sie auf eine *Hülfsnadel in beträchtlicher Entfernung* dasselbe Drehungsmoment wie der *Erdmagnetismus* ausüben könne; denn müsste die *Hülfsnadel* dem *Bifilar-Magnetometer* sehr genähert werden, so verliert das Instrument an Feinheit und Sicherheit und die vorgeschlagene Verbesserung selbst ihre praktische Bedeutung. Jene Entfernung soll deshalb wenigstens 1000 Millimeter betragen. Bezeichnet $M$ den Magnetismus der Nadel des *Bifilar-Magnetometers*, $T$ den *horizontalen Erdmagnetismus*, so kann das Verhältniss

$$\frac{M}{1000^3} : T$$

zur Vergleichung des Drehungsmomentes dienen, welches die Nadel des *Bifilar-Magnetometers* aus 1000 Millimeter Entfernung auf die *Hülfsnadel* ausübt, mit dem von der Erde auf die *Hülfsnadel* ausgeübten Drehungsmomente, woraus hervorgeht, da $T = 1{,}8$ gesetzt werden kann, dass die Erfüllung obiger Bedingung eine Nadel fordert, deren *Magnetismus*

$$M = 1\,800\,000\,000$$

ist, was nur mit einem wenigstens 10 Pfund schweren Magnetstabe zu erreichen ist. Es ist aber sehr vortheilhaft, *noch stärkere* Nadeln anzuwenden, wie z. B. die 25pfündige Nadel, welche Gauss zu dem in den „Resultaten für 1837" beschriebenen *Bifilar-Magnetometer* gebraucht hat, welches jetzt in dem Lokal des physikalischen Institutes aufgestellt sich befindet und mit dem hier die Intensitätsvariationen an den magnetischen Terminen beobachtet werden.

Die *Höhe der Aufhängung* des *Bifilar-Magnetometers* ist nothwendig, um dem Abstande der beiden Aufhängungsdrähte eine angemessene Grösse zu geben, was nur bei einer beträchtlichen Länge der Aufhängungsdrähte möglich ist, und dabei noch hinreichenden Raum unter dem *Bifilar-Magnetometer* für die *Hülfsnadel* und zu deren bequemer Beobachtung frei zu behalten. In dem physikalischen Institute war zu diesem Zwecke durch die Durchbrechung zweier Fussböden eine Aufhängungshöhe von 35 Fuss gewonnen worden.

Die *Hülfsnadel* selbst ist ein zweites *Unifilar-Magnetometer*, mit Spiegel versehen und wird eben so mit Fernrohr und Skale beobachtet. Rechnet man diese *Hülfsnadel* hinzu, so ergiebt sich, dass man dann im Allgemeinen zur Beobachtung der Variationen des *horizontalen Erdmagnetismus*, d. i. zur Beobachtung der Variationen der *Deklination* und *horizontalen Intensität*, zusammen *drei Magnetometer* gebraucht, wovon das *erste* (Unifilar-Magnetometer I) das *normale* heissen kann, weil seine Nadel sich im magnetischen Meridiane befindet; das *zweite* (Bifilar-Magnetometer) das *transversale* heissen kann, weil seine Nadel senkrecht gegen den Meridian steht; das *dritte* (Unifilar-Magnetometer II) das *diagonale* heissen kann, weil seine Nadel den Winkel der beiden ersteren Nadeln halbirt. Es ist interessant, das Verhältniss dieser drei Magnetometer näher zu betrachten.

Nämlich *erstens* das normale Unifilar-Magnetometer ändert seinen Stand nur mit der *Deklination; zweitens* das transversale Bifilar-Magnetometer ändert seinen Stand (wenn seine Suspension und sein Magnetismus konstant bleiben) nur mit der *Intensität; drittens* das diagonale Unifilar-Magnetometer würde (wenn die Richtung und Grösse der von der Nadel des Bifilar-Magnetometers ausgeübten Kraft konstant blieben) seinen Stand mit der *Deklination* und *Intensität* zugleich ändern und zwar so, dass seine Aenderung der *halben Summe* der Aenderungen der beiden ersteren Nadeln gleich wäre. Da aber die Richtung der von der Nadel des *Bifilar-Magnetometers* ausgeübten Kraft nicht konstant bleibt, sondern sich mit dem Stande dieser Nadel ändert, so ergiebt sich, dass dadurch der von der *Intensität* abhängige Theil der Standänderung des *diagonalen Unifilar-Magnetometers* aufgehoben wird und dass folglich letzteres seinen Stand, gleich dem normalen Unifilar-Magnetometer, blos mit der *Deklination* ändert, und dass diese Aenderung für das erstere immer *halb so viel* wie für das letztere beträgt; also wenn $\alpha$ die *Deklinationsveränderung* bezeichnet, so ist die Standänderung des *diagonalen Unifilar-Magnetometers* $\beta$,

$$\beta = \tfrac{1}{2}\alpha.$$

Die Standänderung des *transversalen Bifilar-Magnetometers* giebt aber dann (wenn nämlich der Magnetismus seiner Nadel konstant bleibt) bei einer normalen Torsion der Aufhängungsdrähte um 45° die *Aenderung der horizontalen Intensität in Theilen der ganzen horizontalen Intensität* ausgedrückt, also wenn $\gamma$ jene Standänderung, in Theilen des Halbmessers ausgedrückt, bezeichnet:

$$\gamma = \frac{dT}{T}.$$

Bleibt aber der Magnetismus der Nadel des *transversalen Bifilar-Magnetometers* nicht konstant, so giebt sich jede Aenderung desselben dadurch zu erkennen, dass

$$\beta - \tfrac{1}{2}a \gtrless 0$$

ist, und die Differenz $\beta - \frac{1}{2}a$ selbst drückt dann den von der *Aenderung des Stabmagnetismus* herrührenden Theil der Standänderung des *transversalen Bifilar-Magnetometers* aus, den man von der ganzen Standänderung $\gamma$ nur abzuziehen braucht, um die Aenderung der *Intensität* des *horizontalen Erdmagnetismus* in Theilen dieser Intensität ausgedrückt zu erhalten, nämlich:

$$\gamma - (\beta - \tfrac{1}{2}a) = \frac{dT}{T}.$$

Es ist hierbei aber vorausgesetzt worden, dass die *statischen Elemente* der Magnetometer konstant seien. Nun ist bekannt, dass diese Elemente in Folge der *Ausdehnung der Metalle durch die Temperatur* Aenderungen erleiden, wenn auch nur kleine. Es ist aber interessant und für die praktische Ausführung wichtig, dass die Metalle, deren Temperaturänderungen auf jene Elemente Einfluss haben (die Metalle der Aufhängungsdrähte und der Stege, durch welche der Abstand der Aufhängungsdrähte von einander bestimmt wird), so gewählt werden können, dass die von ihnen herrührenden Aenderungen der statischen Elemente auf die Magnetometerstände sich in der Weise *kompensiren*, dass die Aenderung der *Intensität des horizontalen Erdmagnetismus* aus den beobachteten Magnetometerständen $a$, $\beta$, $\gamma$ eben so gefunden wird, wie wenn gar keine Ausdehnung der Metalle durch die Temperatur Statt fände, nämlich nach der eben angeführten Formel:

$$\gamma - (\beta - \tfrac{1}{2}a) = \frac{dT}{T}.$$

Zur näheren Begründung dieses Satzes ist es nothwendig auf die Gleichungen des Gleichgewichtes des *Bifilar-Magnetometers* und des damit verbundenen *Unifilar-Magnetometers*, welches kurz die *Hülfsnadel* heissen möge, zurückzugehen.

Es bezeichne

$T$ den horizontalen Theil der erdmagnetischen Kraft,

$M$ den Magnetismus der Nadel des Bifilar-Magnetometers,

$m$ den Magnetismus der Hülfsnadel,

$Q$ die statische Direktionskraft des Bifilar-Magnetometers,

$\chi$ den Winkel, welchen die Nadel des Bifilar-Magnetometers mit dem magnetischen Meridiane macht,

$\varphi$ den Winkel, welchen die Hülfsnadel mit dem magnetischen Meridiane macht,

$\psi$ den Winkel, welchen die Richtung der statischen Direktionskraft des Bifilar-Magnetometers mit dem magnetischen Meridiane macht,

$r$ den Abstand der senkrecht über einander liegenden Mittelpunkte beider Nadeln.

Die drei auf die Nadel des *Bifilar-Magnetometers* wirkenden Direktionskräfte sind dann:

$$TM;\ Q;\ \frac{Mm}{r^3}.$$

Die Winkel, welche die Nadel mit den Richtungen dieser drei Kräfte macht, sind:

$$\chi;\ \chi - \psi;\ \chi - (\varphi + \pi),$$

folglich die Drehungsmomente dieser drei Kräfte

$$TM \sin\chi;\ Q\sin(\chi - \psi);\ \frac{Mm}{r^3}\sin(\varphi - \chi),$$

woraus sich die Gleichung des Gleichgewichtes des *Bifilar-Magnetometers* ergiebt, wenn man die Summe dieser drei Drehungsmomente $= 0$ setzt:

$$TM\sin\chi + Q\sin(\chi - \psi) + \frac{Mm}{r^3}\sin(\varphi - \chi) = 0. \qquad (1)$$

Die zwei auf die *Hülfsnadel* wirkenden Direktionskräfte sind:

$$Tm;\ \frac{Mm}{r^3}.$$

Die Winkel, welche die Hülfsnadel mit den Richtungen dieser beiden Kräfte macht, sind:

$$\varphi;\ \varphi - (\chi + \pi),$$

folglich die Drehungsmomente dieser beiden Kräfte:

$$Tm\sin\varphi;\ \frac{Mm}{r^3}\sin(\chi - \varphi),$$

woraus sich die Gleichung des Gleichgewichtes der *Hülfsnadel* ergiebt, wenn man die Summe beider Momente $= 0$ setzt:

$$Tm\sin\varphi + \frac{Mm}{r^3}\sin(\chi - \varphi) = 0. \qquad (2)$$

Differentiirt man nun diese Gleichgewichtsgleichungen (1) und (2) und beachtet dabei, dass $m/M$, $dm/dM$ und $m/Tr^3$ sehr klein sein

sollen, wonach das Differential des dritten Gliedes in (1) vernachlässigt werden darf; so erhält man folgende beiden Gleichungen:

$$M \sin\chi \cdot dT + T \sin\chi \cdot dM + \sin(\chi - \psi) \cdot dQ$$
$$+ (TM\cos\chi + Q\cos(\chi - \psi)) \cdot d\chi - Q\cos(\chi - \psi) \cdot d\psi = 0, \quad (3)$$

$$\sin\varphi \cdot dT + \frac{1}{r^3}\sin(\chi - \varphi) \cdot dM + (T\cos\varphi - \frac{M}{r^3}\cos(\chi - \varphi)) \cdot d\varphi$$
$$+ \frac{M}{r^3}\cos(\chi - \varphi) \cdot d\chi - \frac{3M}{r^4}\sin(\chi - \varphi) \cdot dr = 0. \quad (4)$$

Führt man nun in den Gleichungen (1), (2), (3), (4) für $\chi$ den durch die geforderte transversale Lage gegebenen Werth

$$\chi = -90^0$$

ein und setzt, indem man die am *normalen Unifilar-Magnetometer* beobachtete Deklinationsänderung mit $a$, die beobachtete Aenderung des Standes der *Hülfsnadel* mit $\beta$ und die beobachtete Aenderung des Standes des *Bifilar-Magnetometers* mit $\gamma$ bezeichnet,

$$\frac{dT}{T} = \delta, \quad \frac{dM}{M} = \varepsilon, \quad \frac{dQ}{Q} = \zeta, \quad d\varphi = \beta - a, \quad d\chi = \gamma - a, \quad d\psi = -a, \quad \frac{dr}{r} = \varrho,$$

so erhält man aus (1) und (2)

$$\frac{M}{Tr^3} = \operatorname{tang}\varphi, \quad \frac{Q}{Tm}\cos\psi = -1 + \frac{m}{Tr^3}\cos\varphi.$$

Substituirt man diese Werthe in den Gleichungen (3) und (4) und vernachlässigt die mit dem kleinen Bruch $\frac{m}{Tr^3}$ multiplicirten Differentialien, so erhält man die beiden Gleichungen

$$\delta + \varepsilon - \zeta - \gamma\operatorname{tang}\psi = 0,$$
$$\delta - \varepsilon - a\cot\varphi + \beta(\operatorname{tang}\varphi + \cot\varphi) - \gamma\operatorname{tang}\varphi + 3\varrho = 0,$$

oder

$$\delta = \tfrac{1}{2}\cot\varphi \cdot a - \tfrac{1}{2}(\operatorname{tg}\varphi + \cot\varphi) \cdot \beta + \tfrac{1}{2}(\operatorname{tg}\varphi + \operatorname{tg}\psi) \cdot \gamma + \tfrac{1}{2}(\zeta - 3\varrho), \quad (5)$$
$$\varepsilon = -\tfrac{1}{2}\cot\varphi \cdot a + \tfrac{1}{2}(\operatorname{tg}\varphi + \cot\varphi) \cdot \beta - \tfrac{1}{2}(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\psi) \cdot \gamma + \tfrac{1}{2}(\zeta + 3\varrho), \quad (6)$$

wo $\delta$ und $\varepsilon$ die gesuchten Variationen des *horizontalen Erdmagnetismus* und des *Stabmagnetismus* bezeichnen.

Hat nun, wie leicht geschehen kann, $\varphi$ den normalen Werth von $45^0$ und $\psi$ den normalen Werth von $-135^0$ erhalten, so vereinfachen sich die beiden Gleichungen (5) und (6) und man erhält dafür

$$\delta = \gamma - (\beta - \tfrac{1}{2}a) + \tfrac{1}{2}(\zeta - 3\varrho), \quad (7)$$
$$\varepsilon = \quad + (\beta - \tfrac{1}{2}a) + \tfrac{1}{2}(\zeta + 3\varrho). \quad (8)$$

Die Aenderung der *statischen Direktionskraft* $\zeta$ hängt von der Aenderung des Abstandes der Aufhängungsdrähte an ihrem oberen Ende

$= m$, und an ihrem unteren Ende $= z$, und von der Aenderung ihrer Länge $= e$ ab, nämlich

$$\zeta = m + z - e.$$

Sind die Aufhängungsdrähte von *Eisen* und gehen oben über eine Rolle von *Messing* und sind unten an einem Stege von *Zink* befestigt, so verhält sich für gleiche Temperaturänderung aller Theile nahe

$$m : z : e = 3 : 5 : 2.$$

Die Aenderung der Entfernung der beiden Nadeln $\varrho$ hängt von der Ausdehnung des Drahtes ab, welcher zur Aufhängung der Hülfsnadel am Bifilar-Magnetometer gebraucht wird. Ist dieser Draht von *Eisen*, so ist

$$\varrho = e;$$

folglich $\zeta : \varrho = 3 + 5 - 2 : 2$, woraus

$$\zeta - 3\varrho = 0,$$
$$\zeta + 3\varrho = 6e$$

sich ergiebt. Es reduciren sich dann die Gleichungen (7) und (8) auf:

$$\delta = \gamma - (\beta - \tfrac{1}{2}\alpha), \qquad (9)$$
$$\varepsilon = 3e + (\beta - \tfrac{1}{2}\alpha). \qquad (10)$$

Statt die Aufhängungsdrähte oben über eine Messingrolle gehen zu lassen und unten durch einen Zinksteg zu verbinden, kann man sie auch oben über eine Zinkrolle gehen lassen und unten durch einen Messingsteg verbinden, ohne dass die Gleichungen (9) und (10) ihre Geltung verlören; es findet aber zwischen diesen beiden Fällen ein erheblicher Unterschied Statt, wenn die Temperaturänderungen an den beiden Enden verschieden sind. Verhält sich nämlich die Temperaturänderung unten und oben wie

$$1 : 1 + k$$

und nimmt man als mittlere Temperaturänderung der Aufhängungsdrähte das arithmetische Mittel von beiden an, so findet man

im *ersteren* Falle $\delta = \gamma - (\beta - \tfrac{1}{2}\alpha) + \tfrac{1}{2}ke,$
$\varepsilon = \quad + (\beta - \tfrac{1}{2}\alpha) + (3 + \tfrac{1}{2}k)e,$
im *letzteren* Falle $\delta = \gamma - (\beta - \tfrac{1}{2}\alpha) + ke,$
$\varepsilon = \quad + (\beta - \tfrac{1}{2}\alpha) + (3 + k)e,$

d. i. die wegen *Ungleichheit* der Temperatur an beiden Enden erforderliche Korrektion der Beobachtungen des *horizontalen Erdmagnetismus* beträgt in dem *letzteren* Falle *doppelt* so viel wie in dem *ersteren* und es verdient deshalb die erstere Einrichtung den Vorzug. Beträgt die Temperaturdifferenz an beiden Enden $1^0$ cent., so ergiebt sich nach der

*ersteren* Einrichtung eine Korrektion, welche noch nicht den 200000. Theil der ganzen Intensität erreicht, also so klein ist, dass sie füglich ganz unberücksichtigt bleiben kann.

Es möge hier noch zum Schlusse eine kurze Beschreibung der Einrichtung selbst nebst der Regulirung, so wie ein Beispiel von den damit gemachten Beobachtungen gegeben werden.

1. *Beschreibung der mit dem Bifilar-Magnetometer in Göttingen verbundenen Hülfsnadel.*

Das *Bifilar-Magnetometer,* mit welchem die *Hülfsnadel* in Göttingen verbunden worden ist, findet man in den „Resultaten im Jahre 1840" genau beschrieben und abgebildet und es brauchen daher hier nur folgende kleine Abänderungen bemerkt zu werden, welche der damit zu verbindenden *Hülfsnadel* wegen daran vorgenommen wurden.

*Erstens* wurde der Eisendraht, welcher zur Aufhängung des *Bifilar-Magnetometers* diente, an der Decke statt über zwei kleine Rollen, welche gegen einander verschoben und in schicklicher Entfernung fixirt werden konnten, über eine einzige grosse und starke von Messing gegossene und genau abgedrehete Rolle geführt, durch welche die beiden herabhängenden Drahtenden in schicklicher Entfernung von einander gehalten werden. Diese Entfernung lässt sich allerdings nun gar nicht mehr verändern, was aber auch nicht nöthig ist, weil sich kleine Korrektionen der statischen Direktionskraft durch die Entfernung der Drähte unten am Schiffchen bewirken lassen; denn die beiden Drähte brauchen bekanntlich nicht genau parallel zu sein. Durch Leitung über eine so grosse Rolle erhält der Draht keine bleibende Krümmung und es findet eine vollkommene Ausgleichung der Spannung auf beiden Seiten immer Statt. Der Abstand der beiden Aufhängungsdrähte an ihrem oberen Ende wird dadurch von der Temperaturausdehnung des *Messings* abhängig gemacht. Diese Messingrolle ist mit einer langen und starken zwischen zwei festen Spitzen drehbaren Axe versehen.

*Zweitens* wurde unten am Schiffchen das messingene Verbindungsstück der beiden Aufhängungsdrähte mit einem von *Zink* vertauscht, wodurch der Abstand der beiden Aufhängungsdrähte an ihrem unteren Ende von der Temperaturausdehnung des *Zinks* abhängig gemacht wurde.

*Drittens* wurde auf der unteren Seite des Schiffchens die Suspension der Hülfsnadel angebracht, welche so eingerichtet war, dass sie eine feine *Hebung,* eine messbare *Drehung* (mittelst Torsionskreises) und *Fixirung* des feinen Eisendrahtes gestattete, an welchem die *Hülfsnadel* hing: die feine Hebung diente zur Regulirung des Abstandes der Hülfsnadel von dem Bifilar-Magnetometer, der Torsionskreis zur Einstellung des Nullpunktes der Torsion.

Die Nadel des *Bifilar-Magnetometers* hing etwa 1700 Millimeter über dem Fussboden, 1200 Millimeter (welches etwa die Entfernung war, in welcher die Nadel des Bifilar-Magnetometers eine gleich grosse Direktionskraft ausübte wie der Erdmagnetismus) darunter hing die *Hülfsnadel.* Der Spiegel des *Bifilar-Magnetometers* war 1900 Millimeter, der Spiegel der *Hülfsnadel* war 400 Millimeter über dem Fussboden. In einer horizontalen Entfernung von 5000 Millimeter von der Vertikale der beiden Spiegel stand ein steinernes Postament von 1150 Millimeter Höhe. Die beiden Spiegel wurden durch eine an jeder Spiegelfassung angebrachte Schraube so gegeneinander geneigt, dass ihre Normalen im oberen Rande des Postamentes sich schnitten. Auf dem Postamente wurden die beiden Ablesungsfernröhre neben einander fest aufgestellt, das eine auf den oberen, das andere auf den unteren Spiegel gerichtet, und es wurden mit diesen beiden Ablesungsfernröhren die Spiegelbilder einer und derselben Skale beobachtet, welche am Postamente eben so weit unter dem oberen Rande befestigt war, als die Fernröhre über diesem Rande. Die *Hülfsnadel* war 100 Millimeter lang und 12 Millimeter dick und der daran befestigte Spiegel war um einen vertikalen Zapfen fein drehbar. Beide Nadeln waren mit starken *Dämpfern* versehen.

2. *Regulirung der Hülfsnadel.*

In den „Resultaten im Jahre 1840“ sind von Gauss die Vorschriften zur Bestimmung der Konstanten des Bifilar-Magnetometers und die Regeln entwickelt worden, das Instrument so einzustellen, dass es für die Beobachtungen der Intensitätsvariationen geeignet ist. Diese Vorschriften bleiben unverändert, auch wenn das *Bifilar-Magnetometer* mit einer *Hülfsnadel* verbunden wird. Nur ist darauf zu sehen, dass zwischen der *statischen* und *magnetischen Direktionskraft* das Verhältniss von $\sqrt{2} : 1$ nahe hergestellt werde. Auch ist während der Zeit, wo die Beobachtungen zur Bestimmung der Konstanten des *Bifilar-Magnetometers* ausgeführt werden, die *Hülfsnadel* zu entfernen und mit einer Kupfernadel von gleichem Gewichte zu vertauschen. Darauf wird das *Bifilar-Magnetometer* transversal eingestellt und die Hülfsnadel daran aufgehangen. Um dann aber diese letztere Nadel für sich allein beobachten zu können, ohne dass die Nadel des *Bifilar-Magnetometers* Einfluss darauf habe, wird die letztere entfernt und statt ihrer ein *Bleistab* in das Schiffchen eingelegt und in derselben transversalen Lage, welche die Nadel vorher hatte, festgestellt, was sich durch die Beobachtung des Skalenbildes im Spiegel des *Bifilar-Magnetometers* genau prüfen lässt. Die *Hülfsnadel* wird sich alsdann in den magnetischen Meridian einstellen, wenn der Draht, an dem sie hängt, keine Torsion hat. Wäre

eine *Torsion* des Drahtes vorhanden, so lässt sich dieselbe mit Hülfe eines Torsionsstabes leicht erkennen und beseitigen. Dabei lässt sich auch der *Torsionskoëfficient,* d. i. das Verhältniss der *Direktionskraft des Drahtes* zu der des *Erdmagnetismus,* bestimmen. Es wird sodann ein *Hülfsfernrohr* so aufgestellt, dass seine nach dem Spiegel der *Hülfsnadel* gerichtete optische Axe und die vom Spiegel zum Nullpunkt der Skale gezogene Gerade mit der Spiegelnormale in einer und derselben Ebene liegen und gleiche Winkel bilden würden, wenn der Spiegel aus derjenigen Stellung, bei welcher im *Ablesungsfernrohr* der Nullpunkt der Skale einstand, 45° um eine vertikale Axe gedreht worden wäre.[1]) Der Spiegel wird hierauf wirklich um seinen vertikalen Zapfen so lange gedreht, bis in dem *Hülfsfernrohre* der Nullpunkt der Skale erscheint, die *Hülfsnadel* wird aber während dieser Drehung ihres Spiegels unverrückt im *magnetischen Meridiane* festgehalten.

Nachdem auf diese Weise die *Torsion* des Drahtes aufgehoben, der *Torsionscoëfficient* gemessen und die Stellung des *Spiegels* regulirt worden ist, wird nun endlich die Nadel des *Bifilar-Magnetometers* wieder in ihr Schiffchen eingelegt, und weil alsdann die *Hülfsnadel* um 45° vom magnetischen Meridian abgelenkt werden soll, wird sogleich der *Torsionskreis* der *Hülfsnadel* im voraus nach dieser Richtung um 45° gedreht, damit der Draht durch die mit der Ablenkung der *Hülfsnadel* vom magnetischen Meridiane verknüpfte Drehung keine *Torsion* erleide. Beobachtet man sodann beide Nadeln mit den zugehörigen *Ablesungsfernröhren,* so wird man noch eine beträchtliche Differenz ihres Standes vom Nullpunkt finden, weil nämlich das *Bifilar-Magnetometer* durch den Einfluss der hinzugekommenen *Hülfsnadel* abgelenkt wird und weil der Abstand der *Hülfsnadel* von dem *Bifilar-Magnetometer* noch nicht regulirt ist. Aus der am *Bifilar-Magnetometer* beobachteten Differenz und der gegebenen Lage der *Hülfsnadel* kann aber die von der *Hülfsnadel* hervorgebrachte Aenderung sowohl der Richtung als auch der Grösse der *statischen Direktionskraft* bestimmt und *erstere* durch eine Korrektion der *Schiffchen-Alhidade, letztere* durch eine Korrektion des *Abstandes der Aufhängungsdrähte* am *Bifilar-Magnetometer* berichtigt werden. Nachdem dies geschehen ist, wird auch die Entfernung der *Hülfsnadel*

---

[1]) Bezeichnet $\beta$ den Winkel, welchen die Normale des Spiegels, und $\gamma$ den Winkel, welchen die vom Spiegel zum Nullpunkt der Skale gezogene Gerade mit der Horizontalebene bildet, so ist der Winkel, welchen die optische Axe des Hülfsfernrohres mit der Horizontalebene bildet, $= \text{arc sin} (\sin 2\beta \cos \gamma \sqrt{\tfrac{1}{2}} - \cos 2\beta \sin \gamma)$, der Winkel, welchen die Vertikalebene des Hülfsfernrohres mit der Vertikalebene der vom Spiegel zum Nullpunkt der Skale gezogenen Geraden bildet,

$$= \text{arc tang} \frac{\sin 2\beta \, \text{tang} \, \gamma \sqrt{2} + \cos 2\beta + 1}{\sin 2\beta \, \text{tang} \, \gamma \sqrt{2} + \cos 2\beta - 1}.$$

vom *Bifilar-Magnetometer* so regulirt, dass das *Ablesungsfernrohr* der *Hülfsnadel* auf den Nullpunkt der Skale einsteht.

Der Werth der Skalentheile, welcher nach bekannten Regeln berechnet wird, wenn die Spiegelnormale horizontal ist, bedarf bei der erwähnten *Neigung* der Spiegelnormale einer Korrektion. Bezeichnen $a$ und $a'$ die Winkel der optischen Axen der beiden Ablesungsfernröhre mit der Horizontalebene, und $\gamma$ und $\gamma'$ die Winkel der vom Spiegel des Bifilar-Magnetometers und vom Spiegel der Hülfsnadel zum Nullpunkt der Skale gezogenen Geraden mit der Horizontalebene, so ist der Werth der in Skalentheilen beobachteten Ablenkung des *Bifilar-Magnetometers* mit

$$\frac{\cos\gamma}{\cos\frac{1}{2}(a+\gamma)\cos\frac{1}{2}(a-\gamma)},$$

der der *Hülfsnadel* mit

$$\frac{\cos\gamma'}{\cos\frac{1}{2}(a'+\gamma')\cos\frac{1}{2}(a'-\gamma')}$$

zu multipliciren. Es ist folglich der *Bogenwerth eines Skalentheiles,* wenn $h$ den Horizontalabstand der beide Spiegel verbindenden Vertikallinie von der Skale in Skalentheilen ausgedrückt bezeichnet, *für das Bifilar-Magnetometer*

$$=\frac{1}{2h}\cdot\frac{\cos\gamma}{\cos\frac{1}{2}(a+\gamma)\cos\frac{1}{2}(a-\gamma)},$$

*für die Hülfsnadel*

$$=\frac{1}{2h}\cdot\frac{\cos\gamma'}{\cos\frac{1}{2}(a'+\gamma')\cos\frac{1}{2}(a'-\gamma')}.$$

### 3. *Terminsbeobachtungen der Deklination und horizontalen Intensität in Göttingen 1854. Februar 24. 25.*

Als Beispiel der nach der beschriebenen Methode mit *3 Magnetometern* ausgeführten Variationsbeobachtungen der *horizontalen* Elemente des *Erdmagnetismus,* nämlich der *Deklination* und der *horizontalen Intensität* sollen die im Februartermin 1854 gemachten Beobachtungen benutzt werden, die sich durch Schwankungen von ungewöhnlicher Grösse auszeichnen. Es sind an diesem Termine die Beobachtungen an allen *3 Magnetometern* vollständig von 5 zu 5 Minuten immer gleichzeitig von 3 Beobachtern gemacht worden. Künftig wird es, wenn es nicht mehr auf eine specielle Prüfung der Methode ankommt, genügen, das *dritte Magnetometer* oder die *Hülfsnadel* (auf ähnliche Weise wie sonst das Thermometer) nur von Stunde zu Stunde oder von 2 zu

2 Stunden zu beobachten, z. B. jedes Mal bei der Ablösung der Beobachter, wo der neu eintretende Beobachter die *Hülfsnadel* beobachten kann, während der bisherige Beobachter noch einige Beobachtungssätze am *Bifilar-Magnetometer* zu machen fortfährt.

In der folgenden Tafel sind die Resultate dieser Beobachtungen zusammengestellt, und zwar sind für jede Beobachtungszeit 1. die *Deklination* $a$ nach Skalentheilen des *Unifilar-Magnetometers I*, 2. der Stand $\beta$ des *Unifilar-Magnetometers II*, oder der *Hülfsnadel*, nach Skalentheilen desselben, 3. der Stand des *Bifilar-Magnetometers* $\gamma$ gleichfalls nach Skalentheilen, 4. der Mittelwerth von $(\beta - \frac{1}{2}a)$ aus der laufenden Beobachtungszeit und aus den beiden vorhergehenden und nachfolgenden, welcher die mit $\varepsilon$ bezeichnete *Variation des Stabmagnetismus* in Skalentheilen ausdrückt, und endlich 5. die *horizontale Intensität* des Erdmagnetismus $\delta = \gamma - \varepsilon$ in Skalentheilen angegeben worden. Der Bogenwerth der Skalentheile war für alle 3 Magnetometer nahe gleich.

In der beigefügten *graphischen Darstellung* stellt die *erste Kurve* die Variation $\beta$ verdoppelt dar, und die grosse Uebereinstimmung dieser Kurve mit der *zweiten Kurve*, welche die *Variation der Deklination* $a$ darstellt, veranschaulicht die Sicherheit und Präcision, mit welcher nach der beschriebenen Methode die Variationen des *horizontalen Erdmagnetismus* von den Variationen des *Stabmagnetismus* geschieden werden können; denn diese Uebereinstimmung beider Kurven hängt wesentlich davon ab, dass eine *vollkommene Kompensation* der *unmittelbaren* Wirkung mit der *mittelbaren* Wirkung der Intensitätsvariation des *horizontalen Erdmagnetismus* auf die *Hülfsnadel* wirklich Statt findet; die *dritte Kurve* stellt die *Variation des Stabmagnetismus* durch die aus je fünf auf einander folgenden Beobachtungen abgeleiteten Mittelwerthe von $(\beta - \frac{1}{2}a)$ dar; die *vierte Kurve* endlich die *Variationen des horizontalen Erdmagnetismus* durch die Werthe von $\gamma + \frac{1}{2}a - \beta$.

Göttingen 1854. Februar 24.

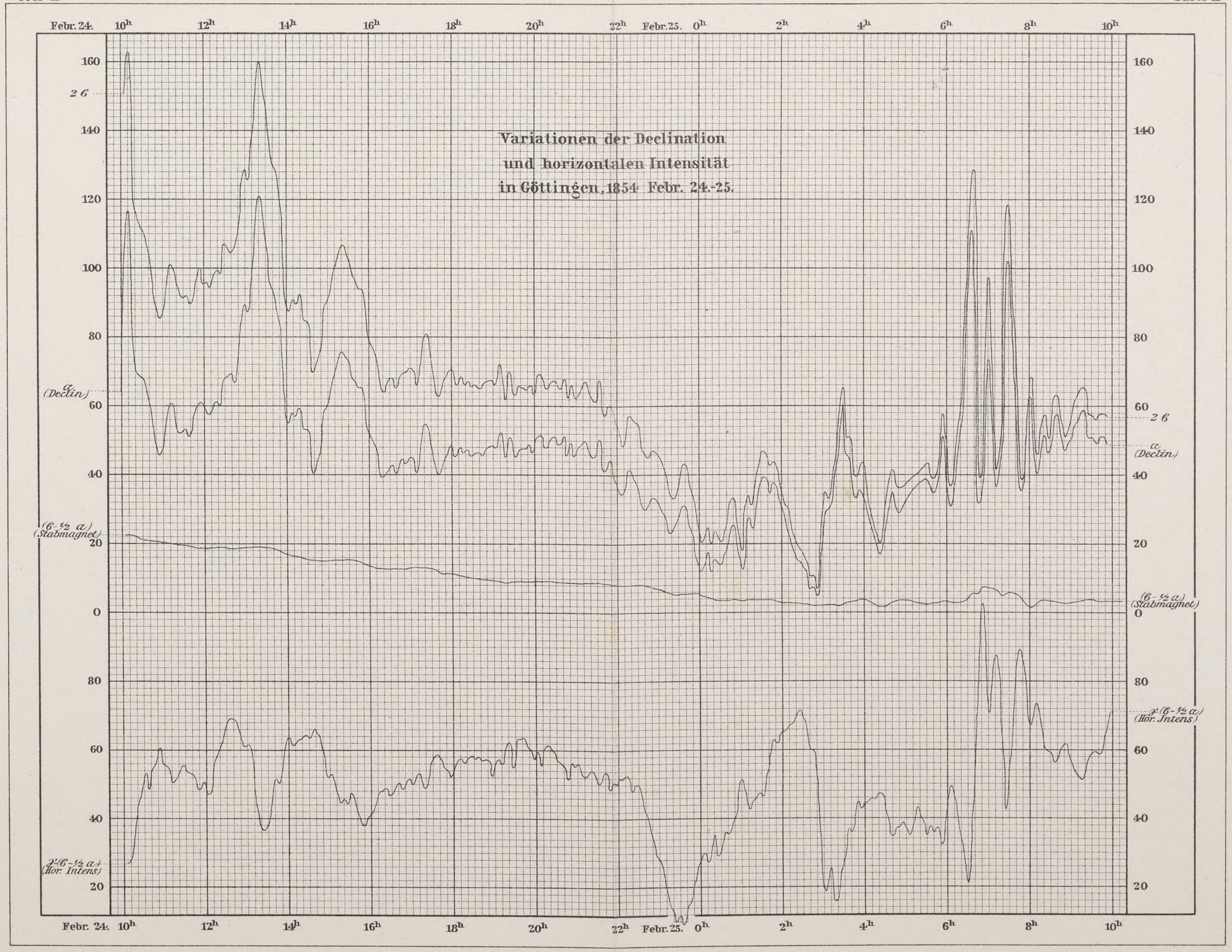
| | 0 m | 5 m | 10 m | 15 m | 20 m | 25 m | 30 m | 35 m | 40 m | 45 m | 50 m | 55 m | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 64,42 | 104,27 | 116,32 | 94,68 | 74,49 | 70,61 | 68,29 | 67,80 | 62,88 | 56,92 | 49,17 | 45,39 | $a$ |
| | | 75,30 | 81,18 | 69,58 | 58,36 | 56,64 | 55,56 | 55,00 | 52,24 | 49,16 | 44,96 | 42,80 | $\beta$ |
| 10 h | | 49,54 | 51,04 | 58,90 | 67,65 | 69,98 | 74,09 | 69,62 | 75,55 | 76,70 | 81,08 | 76,37 | $\gamma$ |
| | | 22,51 | 22,51 | 22,15 | 21,80 | 21,41 | 21,12 | 21,07 | 20,88 | 20,62 | 20,37 | 20,28 | $\varepsilon$ |
| | | 27,03 | 28,53 | 36,75 | 45,85 | 48,57 | 52,97 | 48,55 | 54,67 | 56,08 | 60,71 | 56,09 | $\delta$ |
| | 46,16 | 51,14 | 59,90 | 60,20 | 55,73 | 52,53 | 52,15 | 53,17 | 51,02 | 53,73 | 58,77 | 60,98 | $a$ |
| | 42,94 | 45,92 | 50,26 | 50,08 | 47,80 | 45,86 | 45,72 | 46,00 | 44,88 | 45,08 | 48,82 | 49,94 | $\beta$ |
| 11 h | 75,63 | 73,86 | 70,64 | 71,16 | 73,34 | 75,34 | 73,32 | 72,36 | 71,77 | 68,22 | 67,05 | 68,90 | $\gamma$ |
| | 20,20 | 20,12 | 20,09 | 20,03 | 19,89 | 19,71 | 19,59 | 19,25 | 19,22 | 19,18 | 18,89 | 18,74 | $\varepsilon$ |
| | 55,43 | 53,74 | 50,55 | 51,13 | 53,45 | 55,63 | 53,73 | 53,11 | 52,55 | 49,04 | 48,16 | 50,16 | $\delta$ |

Göttingen 1854. Februar 24.

| | 0 m | 5 m | 10 m | 15 m | 20 m | 25 m | 30 m | 35 m | 40 m | 45 m | 50 m | 55 m | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 60,01 | 58,60 | 57,57 | 59,57 | 61,21 | 60,35 | 67,40 | 68,27 | 68,63 | 66,61 | 73,21 | 85,96 | α |
| | 48,00 | 47,90 | 47,32 | 49,18 | 49,64 | 49,12 | 53,38 | | 52,12 | | 55,36 | 62,56 | β |
| 12h | 66,73 | 66,90 | 75,90 | 77,84 | 81,14 | 85,96 | 87,95 | | 87,12 | | 81,74 | 80,41 | γ |
| | 18,80 | 18,80 | 18,71 | 18,90 | 19,12 | 19,16 | 18,84 | | 18,65 | | 18,77 | 19,06 | ε |
| | 47,93 | 48,10 | 57,19 | 58,94 | 62,02 | 66,80 | 69,11 | | 68,47 | | 62,97 | 61,35 | δ |
| | 89,42 | 87,07 | 99,37 | 113,65 | 120,16 | 114,27 | 109,71 | 99,11 | 94,02 | 91,87 | 84,48 | 72,02 | α |
| | 64,14 | 62,80 | 69,16 | 76,94 | 79,96 | 76,66 | 73,90 | 67,70 | 65,14 | 63,94 | 59,66 | 52,92 | β |
| 13h | 81,08 | 77,17 | 67,68 | 60,86 | 56,36 | 57,32 | 58,49 | 63,63 | 69,81 | 68,04 | 71,78 | 78,69 | γ |
| | 19,30 | 19,57 | 19,63 | 19,65 | 19,61 | 19,34 | 18,95 | 18,57 | 18,15 | 17,72 | 17,40 | 17,00 | ε |
| | 61,78 | 57,60 | 48,05 | 41,21 | 36,75 | 37,98 | 39,54 | 45,06 | 51,66 | 50,32 | 54,38 | 61,69 | δ |
| | 57,27 | 55,14 | 57,54 | 56,89 | 58,94 | 53,34 | 53,05 | 51,85 | 40,38 | 42,06 | 45,67 | 57,57 | α |
| | 45,17 | 43,72 | 45,14 | 44,84 | 45,96 | 42,44 | 42,25 | 41,50 | 34,90 | 35,86 | 37,86 | 44,22 | β |
| 14h | 80,17 | 78,04 | 78,89 | 79,25 | 80,23 | 80,03 | 79,48 | 81,48 | 80,03 | 79,02 | 73,77 | 67,28 | γ |
| | 16,68 | 16,47 | 16,39 | 16,24 | 16,15 | 15,99 | 15,65 | 15,32 | 15,17 | 15,12 | 15,04 | 15,19 | ε |
| | 63,49 | 61,57 | 62,50 | 63,01 | 64,08 | 64,04 | 63,83 | 66,16 | 64,86 | 63,90 | 58,73 | 52,09 | δ |
| | 60,24 | 62,36 | 69,34 | 73,36 | 75,47 | 75,08 | 73,54 | 68,89 | 67,63 | 65,48 | 65,16 | 59,52 | α |
| | 45,34 | 46,61 | 50,03 | 52,07 | 53,02 | 53,00 | 51,21 | 49,39 | 48,38 | 47,02 | 46,97 | 43,68 | β |
| 15h | 67,84 | 65,68 | 61,97 | 60,11 | 60,61 | 59,60 | 62,17 | 60,29 | 56,16 | 53,30 | 52,21 | 54,49 | γ |
| | 15,29 | 15,37 | 15,34 | 15,39 | 15,19 | 15,10 | 14,94 | 14,74 | 14,52 | 14,42 | 14,10 | 13,91 | ε |
| | 52,55 | 50,31 | 46,63 | 44,72 | 45,42 | 44,50 | 47,23 | 45,55 | 41,64 | 38,88 | 38,11 | 40,58 | δ |
| | 53,11 | 50,42 | 48,51 | 41,63 | 38,85 | 39,96 | 41,54 | 42,58 | 40,16 | 43,11 | 44,33 | 43,09 | α |
| | 39,92 | 38,81 | 37,52 | 34,10 | 32,03 | 32,42 | 33,70 | 34,08 | 32,81 | 34,15 | 34,77 | 34,81 | β |
| 16h | 55,64 | 56,55 | 61,16 | 61,10 | 61,78 | 59,83 | 59,96 | 61,58 | 63,00 | 61,17 | 62,90 | 64,62 | γ |
| | 13,71 | 13,49 | 13,22 | 13,04 | 12,91 | 12,81 | 12,70 | 12,50 | 12,53 | 12,60 | 12,75 | 12,76 | ε |
| | 41,43 | 43,06 | 47,94 | 48,06 | 48,87 | 47,02 | 47,26 | 49,08 | 50,47 | 48,57 | 50,15 | 51,86 | δ |
| | 44,68 | 44,79 | 40,83 | 46,40 | 54,39 | 54,57 | 48,29 | 43,90 | 40,67 | 40,59 | 44,09 | 46,84 | α |
| | 35,41 | 35,16 | 33,00 | 36,37 | 40,06 | 40,24 | 36,74 | 33,66 | 31,70 | 31,62 | 33,55 | 34,88 | β |
| 17h | 63,11 | 65,20 | 65,70 | 61,66 | 62,31 | 67,38 | 69,84 | 70,45 | 69,33 | 66,12 | 65,25 | 63,65 | γ |
| | 12,96 | 13,07 | 12,99 | 12,87 | 12,83 | 12,66 | 12,30 | 11,99 | 11,70 | 11,47 | 11,37 | 11,38 | ε |
| | 50,15 | 52,13 | 52,71 | 48,79 | 49,48 | 54,72 | 57,54 | 58,46 | 57,63 | 54,65 | 53,88 | 52,27 | δ |
| | 48,43 | 44,86 | 45,60 | 48,02 | 46,64 | 46,90 | 45,85 | 46,01 | 46,31 | 45,45 | 47,23 | 48,05 | α |
| | 35,43 | 33,80 | 33,10 | 34,10 | 33,10 | 33,37 | 32,68 | 32,98 | 32,74 | 32,50 | 33,34 | 33,58 | β |
| 18h | 66,06 | 67,89 | 68,04 | 66,49 | 67,77 | 68,06 | 67,73 | 67,87 | 66,94 | 66,99 | 66,54 | 61,81 | γ |
| | 11,17 | 10,89 | 10,55 | 10,29 | 9,97 | 9,90 | 9,80 | 9,80 | 9,76 | 9,72 | 9,64 | 9,55 | ε |
| | 54,89 | 57,00 | 57,49 | 56,20 | 57,80 | 58,16 | 57,93 | 58,07 | 57,18 | 57,27 | 56,90 | 52,26 | δ |
| | 48,32 | 47,70 | 52,05 | 48,05 | 45,16 | 50,99 | 46,90 | 45,17 | 46,90 | 47,67 | 47,65 | 48,50 | α |
| | 33,72 | 33,00 | 35,94 | 33,18 | 31,02 | 34,98 | 32,36 | 31,92 | 33,10 | 32,68 | 32,48 | 32,94 | β |
| 19h | 65,54 | 66,72 | 65,02 | 70,44 | 71,33 | 64,33 | 72,16 | 72,40 | 72,42 | 70,38 | 68,96 | 66,52 | γ |
| | 9,21 | 9,09 | 8,87 | 8,85 | 8,81 | 9,07 | 9,16 | 9,25 | 9,08 | 9,04 | 8,89 | 8,73 | ε |
| | 56,33 | 57,63 | 56,15 | 61,59 | 62,52 | 55,26 | 63,00 | 63,15 | 63,34 | 61,34 | 60,07 | 57,79 | δ |
| | 46,37 | 50,93 | 51,46 | 48,62 | 47,65 | 50,04 | 50,29 | 48,83 | 48,74 | 51,08 | 45,59 | 49,01 | α |
| | 31,80 | 34,32 | 34,60 | 33,22 | 32,76 | 33,76 | 33,68 | 32,80 | 32,74 | 33,98 | 31,16 | 32,94 | β |
| 20h | 68,02 | 64,00 | 69,48 | 70,11 | 68,90 | 67,15 | 64,95 | 64,54 | 63,38 | 59,81 | 64,41 | 63,67 | γ |
| | 8,74 | 8,79 | 8,84 | 8,86 | 8,80 | 8,70 | 8,59 | 8,49 | 8,42 | 8,40 | 8,21 | 8,19 | ε |
| | 59,28 | 55,21 | 60,64 | 61,25 | 60,10 | 58,45 | 56,36 | 56,05 | 54,96 | 51,41 | 56,20 | 55,48 | δ |

Göttingen 1854. Februar 24.

| | 0 m | 5 m | 10 m | 15 m | 20 m | 25 m | 30 m | 35 m | 40 m | 45 m | 50 m | 55 m | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 45,19 | 47,25 | 48,51 | 49,76 | 46,87 | 45,30 | 45,24 | 50,43 | 42,02 | 40,99 | 43,98 | 41,85 | α |
| | 31,04 | 31,88 | 32,68 | 33,40 | 31,80 | 30,92 | 30,62 | 33,68 | 28,96 | 28,65 | 30,02 | 28,78 | β |
| 21 h | 64,21 | 62,34 | 61,19 | 61,64 | 62,27 | 60,57 | 58,52 | 60,54 | 61,69 | 56,50 | 58,58 | 58,44 | γ |
| | 8,18 | 8,21 | 8,20 | 8,37 | 8,31 | 8,32 | 8,21 | 8,17 | 8,12 | 8,09 | 8,01 | 8,12 | ε |
| | 56,03 | 54,13 | 52,99 | 53,27 | 53,96 | 52,25 | 50,31 | 52,37 | 53,57 | 48,41 | 50,57 | 50,32 | δ |
| | 38,71 | 35,53 | 34,62 | 36,39 | 41,20 | 39,89 | 38,01 | 34,52 | 31,38 | 29,99 | 31,56 | 33,44 | α |
| | 27,42 | 26,29 | 24,46 | 26,02 | 28,56 | 27,86 | 27,42 | 25,32 | 23,46 | 22,80 | 22,82 | 23,46 | β |
| 22 h | 59,24 | 59,30 | 60,41 | 58,75 | 56,65 | 57,73 | 57,94 | 53,25 | 49,59 | 46,72 | 41,49 | 36,89 | γ |
| | 7,92 | 7,88 | 7,90 | 7,87 | 7,85 | 8,03 | 8,02 | 7,99 | 7,82 | 7,48 | 7,14 | 6,85 | ε |
| | 51,32 | 51,42 | 52,51 | 50,88 | 48,80 | 49,70 | 49,92 | 45,26 | 41,77 | 39,24 | 34,35 | 30,04 | δ |
| | 33,21 | 32,21 | 29,37 | 27,18 | 24,03 | 23,69 | 26,45 | 31,96 | 30,93 | 26,45 | 24,02 | 18,68 | α |
| | 22,98 | 22,42 | 20,84 | 19,70 | 16,84 | 16,44 | 17,92 | 20,88 | 21,52 | 19,18 | 17,36 | 14,68 | β |
| 23 h | 34,77 | 31,43 | 24,72 | 20,18 | 18,80 | 15,55 | 16,83 | 15,07 | 20,13 | 20,92 | 25,84 | 31,29 | γ |
| | 6,52 | 6,34 | 5,95 | 5,60 | 5,27 | 5,02 | 5,01 | 5,24 | 5,39 | 5,52 | 5,54 | 5,16 | ε |
| | 28,25 | 25,09 | 18,77 | 14,58 | 13,53 | 10,53 | 11,82 | 9,83 | 14,74 | 15,40 | 20,30 | 26,13 | δ |
| Febr. 25. | 15,95 | 11,88 | 13,40 | 16,60 | 11,84 | 15,70 | 14,98 | 14,02 | 17,38 | 20,39 | 25,08 | 25,38 | α |
| | 12,96 | 10,10 | 11,14 | 12,28 | 9,78 | 11,56 | 10,92 | 10,32 | 12,16 | 14,00 | 16,50 | 16,32 | β |
| 0 h | 32,14 | 34,56 | 32,06 | 32,73 | 39,04 | 33,20 | 34,40 | 39,52 | 39,44 | 41,91 | 43,41 | 49,57 | γ |
| | 4,85 | 4,58 | 4,28 | 4,03 | 3,88 | 3,66 | 3,55 | 3,54 | 3,59 | 3,63 | 3,58 | 3,44 | ε |
| | 27,29 | 29,98 | 27,78 | 28,70 | 35,16 | 29,54 | 30,85 | 35,98 | 35,85 | 38,28 | 39,83 | 46,13 | δ |
| | 17,37 | 12,40 | 24,98 | 26,99 | 24,51 | 30,57 | 36,90 | 39,31 | 38,31 | 34,26 | 37,09 | 35,94 | α |
| | 11,74 | 8,96 | 15,94 | 17,02 | 15,70 | 19,08 | 21,50 | 23,14 | 22,76 | 21,08 | 21,60 | 20,92 | β |
| 1 h | 54,83 | 50,57 | 46,31 | 48,02 | 49,33 | 50,84 | 50,16 | 54,76 | 60,21 | 65,98 | 63,83 | 66,45 | γ |
| | 3,37 | 3,28 | 3,25 | 3,40 | 3,45 | 3,46 | 3,49 | 3,59 | 3,44 | 3,42 | 3,24 | 2,94 | ε |
| | 51,46 | 47,29 | 43,06 | 44,62 | 45,88 | 47,38 | 46,67 | 51,17 | 56,77 | 62,56 | 60,59 | 63,51 | δ |
| | 31,74 | 28,84 | 25,43 | 22,80 | 18,16 | 15,17 | 14,87 | 12,95 | 12,24 | 6,34 | 6,69 | 4,38 | α |
| | 18,44 | 16,58 | 15,52 | 14,20 | 11,12 | 10,02 | 9,42 | 8,54 | 7,77 | 5,04 | 5,08 | 3,54 | β |
| 2 h | 67,88 | 68,18 | 69,32 | 70,75 | 72,84 | 73,40 | 70,80 | 67,29 | 62,00 | 61,49 | 52,20 | 38,22 | γ |
| | 2,71 | 2,66 | 2,48 | 2,45 | 2,49 | 2,34 | 2,11 | 2,08 | 1,94 | 1,73 | 1,78 | 1,97 | ε |
| | 65,17 | 65,52 | 66,84 | 68,30 | 70,35 | 71,06 | 68,69 | 65,21 | 60,06 | 59,76 | 50,42 | 36,25 | δ |
| | 15,98 | 29,13 | 29,62 | 37,55 | 43,61 | 50,41 | 59,94 | 46,30 | 44,77 | 40,06 | 33,11 | 34,09 | α |
| | 10,28 | 17,15 | 16,64 | 19,98 | 23,50 | 27,23 | 32,15 | 25,24 | 25,27 | 22,72 | 19,55 | 20,00 | β |
| 3 h | 21,45 | 19,87 | 27,24 | 18,42 | 18,94 | 25,95 | 30,02 | 39,47 | 38,77 | 42,10 | 47,40 | 46,13 | γ |
| | 1,96 | 1,85 | 1,92 | 1,87 | 1,79 | 1,84 | 2,18 | 2,37 | 2,57 | 2,72 | 3,01 | 3,02 | ε |
| | 19,49 | 18,02 | 25,32 | 16,55 | 16,15 | 24,11 | 27,84 | 37,10 | 36,20 | 39,38 | 44,39 | 43,11 | δ |
| | 34,62 | 31,35 | 26,61 | 24,55 | 21,98 | 17,45 | 20,82 | 25,80 | 30,52 | 34,34 | 30,10 | 28,67 | α |
| | 20,82 | 18,64 | 15,67 | 13,75 | 11,66 | 9,40 | 11,50 | 15,38 | 19,20 | 20,63 | 18,19 | 17,97 | β |
| 4 h | 47,12 | 47,32 | 48,03 | 47,14 | 48,42 | 47,86 | 42,65 | 38,30 | 38,38 | 40,49 | 41,10 | 42,01 | γ |
| | 2,96 | 2,65 | 2,20 | 1,63 | 1,25 | 1,28 | 1,77 | 2,33 | 2,82 | 3,33 | 3,45 | 3,26 | ε |
| | 44,16 | 44,67 | 45,83 | 45,51 | 47,17 | 46,58 | 40,88 | 35,97 | 35,56 | 37,16 | 37,65 | 38,75 | δ |
| | 30,01 | 31,42 | 33,19 | 35,03 | 36,62 | 37,16 | 38,12 | 38,08 | 36,70 | 34,82 | 38,10 | 53,08 | α |
| | 18,10 | 18,70 | 19,41 | 19,88 | 20,00 | 20,56 | 21,13 | 21,67 | 19,70 | 19,97 | 22,03 | 29,91 | β |
| 5 h | 40,01 | 38,67 | 42,23 | 45,36 | 41,81 | 40,52 | 36,85 | 39,78 | 38,28 | 39,97 | 35,23 | 36,67 | γ |
| | 3,14 | 2,98 | 2,59 | 2,37 | 2,18 | 2,15 | 1,94 | 2,12 | 2,32 | 2,58 | 2,69 | 2,89 | ε |
| | 36,87 | 35,69 | 39,64 | 42,99 | 39,63 | 38,37 | 34,91 | 37,66 | 35,96 | 37,39 | 32,54 | 33,78 | δ |


Variationen der Declination
und horizontalen Intensität
in Göttingen, 1854 Febr. 24.-25.
Febr. 24. 10h 12h 14h 16h 18h 20h 22h Febr. 25. 0h 2h 4h 6h 8h 10h
160
140
120
100
80
60
40
20
0
2 б
a (Declin.)
(б - ½ a) (Stabmagnet)
ᵡ(б - ½ a) (Hor. Intens.)

Göttingen 1854. Februar 24.

| | 0 m | 5 m | 10 m | 15 m | 20 m | 25 m | 30 m | 35 m | 40 m | 45 m | 50 m | 55 m | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 45,91 | 34,22 | 30,83 | 42,87 | 51,89 | 58,38 | 91,64 | 110,61 | 111,07 | 80,85 | 31,94 | 37,37 | $\alpha$ |
| | 26,16 | 19,44 | 18,87 | 23,90 | 29,04 | 32,14 | 48,48 | 60,30 | 63,12 | 48,56 | 19,68 | 20,58 | $\beta$ |
| 6 h | 48,85 | 51,56 | 47,89 | 41,47 | 36,20 | 31,89 | 25,58 | 32,89 | 60,42 | 94,67 | 109,23 | 93,21 | $\gamma$ |
| | 2,67 | 2,57 | 2,51 | 2,46 | 2,53 | 3,17 | 4,20 | 5,21 | 5,36 | 5,20 | 6,67 | 7,19 | $\varepsilon$ |
| | 46,18 | 48,99 | 45,38 | 39,01 | 33,67 | 28,72 | 21,38 | 27,68 | 55,06 | 89,47 | 102,56 | 86,02 | $\delta$ |
| | 73,66 | 72,32 | 49,74 | 36,61 | 44,69 | 89,86 | 101,89 | 94,44 | 72,72 | 47,76 | 35,53 | 41,58 | $\alpha$ |
| | 48,86 | 41,32 | 29,18 | 21,78 | 24,54 | 49,60 | 57,18 | 54,04 | 42,30 | 28,04 | 19,30 | 20,90 | $\beta$ |
| 7 h | 77,19 | 88,34 | 93,20 | 85,84 | 64,92 | 46,82 | 59,71 | 77,85 | 90,50 | 93,80 | 87,86 | 74,28 | $\gamma$ |
| | 6,42 | 6,37 | 6,43 | 4,96 | 4,18 | 4,68 | 5,17 | 5,57 | 4,94 | 3,71 | 2,52 | 1,94 | $\varepsilon$ |
| | 70,77 | 81,97 | 86,77 | 80,88 | 60,74 | 42,14 | 54,54 | 72,28 | 85,56 | 90,09 | 85,34 | 72,34 | $\delta$ |
| | 62,23 | 62,28 | 47,05 | 40,26 | 47,32 | 50,87 | 46,04 | 51,13 | 57,16 | 57,54 | 51,30 | 46,87 | $\alpha$ |
| | 31,96 | 34,20 | 26,50 | 23,02 | 26,92 | 28,52 | 25,54 | 28,40 | 31,14 | 31,18 | 28,02 | 25,60 | $\beta$ |
| 8 h | 69,10 | 74,50 | 76,65 | 71,10 | 63,37 | 62,21 | 61,46 | 59,06 | 59,94 | 62,58 | 64,05 | 62,19 | $\gamma$ |
| | 1,71 | 1,98 | 2,61 | 3,05 | 2,95 | 2,92 | 2,85 | 2,68 | 2,54 | 2,47 | 2,37 | 2,41 | $\varepsilon$ |
| | 67,39 | 72,52 | 74,04 | 68,05 | 60,42 | 59,29 | 58,61 | 56,38 | 57,40 | 60,11 | 61,68 | 59,78 | $\delta$ |
| | 48,80 | 51,15 | 55,42 | 56,05 | 58,06 | 54,80 | 50,66 | 50,51 | 49,27 | 50,60 | 50,46 | 48,36 | $\alpha$ |
| | 26,76 | 28,32 | 31,10 | 31,96 | 32,70 | 31,56 | 28,90 | 28,90 | 27,96 | 28,82 | 28,78 | 28,38 | $\beta$ |
| 9 h | 58,55 | 56,17 | 55,31 | 55,25 | 57,49 | 61,58 | 62,77 | 63,66 | 63,14 | 63,45 | 69,63 | 74,48 | $\gamma$ |
| | 2,61 | 2,92 | 3,22 | 3,58 | 3,75 | 3,80 | 3,67 | 3,64 | 3,52 | 3,65 | 3,54 | 3,54 | $\varepsilon$ |
| | 55,94 | 53,25 | 52,09 | 51,67 | 53,74 | 57,78 | 59,10 | 60,02 | 59,62 | 59,80 | 66,09 | 70,94 | $\delta$ |

XXIX.

# Bestimmung der rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen in dem Zeitraume von 1834—1853.

[Anzeige in den Göttinger Nachrichten 1854. No. 15, p. 217—226.]

---

Der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften wurde am 27. November vom Professor Wilhelm Weber eine Abhandlung vorgelegt: *Bestimmung der rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen in dem Zeitraume von 1834—1853.*

In der Abhandlung *Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Auctore* C. F. Gauss. *Art. 3* werden die Magnete in beharrliche und veränderliche eingetheilt und es wird vorausgesetzt, dass alle Beobachtungen, welche zur Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus dienen sollen, mit beharrlichen Magneten gemacht, oder, wenn dies nicht sein sollte, auf diejenigen Werthe reducirt wären, welche man erhalten haben würde, wenn die zu den Nadeln gebrauchten Magnete beharrlich gewesen wären. Die Erfahrung lehrt nun, dass es in der Natur keine vollkommen beharrliche Magnete giebt, sondern dass der Magnetismus jedes Körpers Aenderungen unterworfen ist, welche in *regelmässige* und *unregelmässige* eingetheilt werden können. Zu den *regelmässigen* Aenderungen des Magnetismus rechnet man die von der Temperatur abhängigen, es gehören aber dazu ausserdem auch die von der Lage zu anderen Magneten, namentlich zur Erde, abhängigen. Zu den *unregelmässigen* Aenderungen gehören die durch heftige Erschütterungen, oder Berührungen mit anderen Magneten, oder durch elektrische Entladungen u. s. w. hervorgebrachten bleibenden Aenderungen des Magnetismus. Vor Einflüssen der letzten Art lassen sich die zu feineren Messungen dienenden Magnetnadeln leicht so bewahren, dass daraus für die Messungen selbst kein merklicher Nachtheil entspringt und dass also die mit diesen Nadeln gemachten Beobachtungen blos einer Reduktion wegen der regelmässigen Aenderungen des Nadelmagnetismus bedürfen.

Diese Reduktion ist nun verschieden, je nachdem es sich um Beobachtungen handelt, welche die Bestimmung des *absoluten Werthes* der Intensität des Erdmagnetismus, oder solche, welche blos seine *Variationen* betreffen. Die *ersteren* Beobachtungen lassen sich nämlich, wie schon von Gauss a. a. O. Art. 10 bemerkt worden, so einrichten, dass der Einfluss der von der Temperatur abhängigen Aenderungen des Nadelmagnetismus in der Berechnung des absoluten Werthes der Intensität bei gleichen Nadeln von selbst verschwindet; auch bei ungleichen Nadeln wird aber dieser Einfluss immer so gering sein, dass er keiner Berücksichtigung bedarf: es ist daher bei diesen Beobachtungen nur eine Reduktion wegen der von der Lage der Nadeln zur Erde abhängigen Aenderungen ihres Magnetismus erforderlich. Die *letzteren* Beobachtungen über die Variationen werden dagegen mit einer Nadel gemacht, deren Lage gegen die Erde sich nur sehr wenig ändert, so dass hier umgekehrt die von dieser Lage abhängigen Aenderungen des Nadelmagnetismus unmerklich sind und keiner Berücksichtigung bedürfen, und dass also nur eine Reduktion wegen der von der Temperatur abhängigen Aenderungen erforderlich ist. Diese beiden Reduktionen bilden den Hauptgegenstand der vorgelegten Abhandlung.

Der *erste* Theil handelt von der Bestimmung der von der Lage zur Erde abhängigen Aenderungen des Nadelmagnetismus; der *zweite* Theil giebt die Bestimmung der rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen für den Zeitraum von 1834—1853, aus den nach den Ergebnissen des ersten Theiles reducirten Beobachtungen berechnet; der *dritte* Theil handelt von der Reduktion der die Variationen der Intensität des Erdmagnetismus betreffenden Beobachtungen.

Die Untersuchung der von der Lage zur Erde abhängigen Aenderungen des Nadelmagnetismus im *ersten* Theile führt zur Betrachtung der Veränderlichkeit des Magnetismus *in Körpern von grosser Koercitivkraft durch kleine Kräfte* im Allgemeinen; denn die zu feineren Messungen gebrauchten Nadeln pflegen aus sehr hartem Stahle zu bestehen und besitzen also eine sehr grosse Koercitivkraft, während die Kräfte, mit denen die Erde bei verschiedener Lage der Nadeln auf deren Magnetismus wirkt, im Vergleich zu denjenigen Kräften, welche bei der Magnetisirung harter Stahlnadeln angewandt werden, um die Koercitivkraft zu überwinden, fast als verschwindend klein betrachtet werden können. Es ist daher sehr interessant, dass überhaupt noch eine von so kleinen Kräften herrührende Aenderung des Magnetismus solcher Nadeln wahrgenommen wird, und insbesondere, dass diese kleinen Aenderungen *regelmässige* sind, d. h. dass die Nadel immer wieder denselben Magnetismus annimmt, so oft dieselbe Kraft auf sie wirkt. Es ist diese

interessante Aufgabe zuerst von Fechner in seiner *Commentatio de magnetismo variabili qui chalybi actione galvanica inducitur* (Pogg. Ann. 1842, Bd. 55) behandelt, und durch die von ihm mitgetheilten Versuche ist sowohl das Faktum der Aenderung als auch das der erwähnten Regelmässigkeit ausser Zweifel gesetzt worden. Die von ihm gebrauchte Methode lässt sich aber nicht unter allen Verhältnissen und namentlich nicht auf solche Nadeln, wie sie zur Messung der Intensität des Erdmagnetismus gebraucht werden, anwenden. Es war daher nothwendig, zu dem hier vorliegenden Zwecke eine neue Methode zu suchen, und diese besteht wesentlich darin, dass die Nadel von einer Kapsel fest umschlossen wird, die selbst mit einem mit Seide umsponnenen Drahte umwickelt ist, dessen Enden zu einem in grosser Entfernung aufgestellten Galvanometer geleitet und mit den Enden seines Multiplikatordrahtes fest verbunden werden. Es leuchtet dann ein, dass, wenn man die Kapsel mit der Nadel senkrecht hält und plötzlich umdreht, in dem darum gewundenen Drahte nach bekannten Induktionsgesetzen ein galvanischer Strom inducirt wird, der, indem er den Multiplikator durchläuft, die Galvanometernadel ablenkt. So schwach auch dieser inducirte Strom ist, so kann doch bei einem sehr empfindlichen Galvanometer die von ihm hervorgebrachte Ablenkung nicht blos wahrgenommen, sondern auch sehr genau gemessen werden. Es wird aber bei der erwähnten Umdrehung ein doppelter Strom inducirt, denn *erstens* inducirt der vertikale Theil der erdmagnetischen Kraft in dem um die Kapsel gewundenen Drahte einen Strom *unmittelbar*, *zweitens* inducirt derselbe *mittelbar* einen Strom in demselben Drahte dadurch, dass er eine kleine Aenderung des Nadelmagnetismus hervorbringt. Ausserdem findet aber keine Induktion weiter Statt; denn der Magnetismus, welchen die Nadel unabhängig von der von der Erde ausgeübten Kraft besitzt, ist bekanntlich ohne Einfluss, da die Nadel bei gemeinschaftlicher Umdrehung mit der Kapsel gegen den um die Kapsel gewundenen Draht nicht verrückt wird. Hierin besteht der wesentliche Vorzug dieser Methode, dass nämlich die dabei beobachtete Wirkung blos von dem *variabelen* und nicht von dem *konstanten* Theile des Nadelmagnetismus herrührt; denn da letzterer gegen ersteren sehr gross ist, so würde, wenn die Wirkungen beider Theile sich vermischten, der erstere, durch Elimination des letzteren, nicht genau ermittelt werden können. Es bleibt daher endlich nur noch übrig, die Wirkungen jener beiden gleichzeitig inducirten Ströme von einander zu scheiden, was leicht geschehen kann, indem man die Beobachtungen mit der Kapsel und mit dem darum gewundenen Drahte allein wiederholt, nachdem die Nadel aus der Kapsel herausgenommen worden ist.

Aus diesen Beobachtungen hat sich ergeben, dass die Aenderung

des Magnetismus in den beiden gebrauchten Nadeln durch die Einheit der erdmagnetischen Kraft, nach absolutem Maasse

$$4{,}091 \cdot \frac{v}{1 + 4{,}091 . 4\pi S}$$

beträgt, worin $v$ das Volumen der Nadel und $4\pi S$ einen von den Dimensionen der Nadel abhängigen Koëfficienten bezeichnet, welcher bei Nadeln von ellipsoidischer Form nach einer von NEUMANN in CRELLE's „Journal für die reine und angewandte Mathematik," Bd. 37, angegebenen Regel berechnet werden kann. Für dünne und lange Nadeln ergiebt sich daraus die Aenderung ihres Magnetismus durch die Einheit der magnetischen Kraft ganz nahe

$$= 4{,}091 . v.$$

Zur Vergleichung dient, dass dieselbe Aenderung für dieselben harten Nadeln vor ihrer Magnetisirung

$$= 4{,}934 . v$$

erhalten wurde; ferner für eine ganz gleiche Nadel von weichem Stahle

$$= 5{,}61 . v$$

und für eine Nadel von weichem Eisen

$$= 35{,}64 . v.$$

Endlich wurde bei der Feinheit der Beobachtungen, welche diese Methode gestattete, auch noch der Versuch gemacht, dieselben Beobachtungen, statt mit Stahl- und Eisennadeln mit drei schönen *Krystallen von Magneteisenstein* zu wiederholen, welche der Verfasser zu diesem Zwecke durch die Güte des Herrn Geh. Hofrath HAUSMANN aus dessen Privatsammlung geliehen erhalten hatte. Es ergab sich für den grössten dieser drei Krystalle, welcher 9760 Kubikmillimeter Rauminhalt und 48 260 Milligramm Masse hatte, eine Aenderung seines Magnetismus durch die Einheit der erdmagnetischen Kraft nach absolutem Maasse

$$= 2400,$$

während derselbe bei starker Magnetisirung einen beharrlichen Magnetismus

$$= 317\,700$$

annahm. Ein ähnliches Resultat ergab sich auch für die beiden kleineren Krystalle.

Dieses Resultat ist darum merkwürdig, weil dadurch die Ansicht widerlegt wird, dass die Ursache von der Aenderung des Magnetismus

in Körpern von grosser Koercitivkraft darin liege, dass diese Körper weiche Eisentheilchen eingeschlossen enthielten.

Wäre eine solche Beimischung der wahre Grund der beobachteten Aenderungen, so dürften in *homogenen* Körpern, wie diese Krystalle waren, wo allen Theilchen eine gleiche Koercitivkraft zugeschrieben werden muss, solche Aenderungen gar nicht Statt finden. Es folgt daraus, dass die beobachteten Aenderungen des Magnetismus in homogenen Körpern von grosser Koercitivkraft nicht aus einer *Bewegung der magnetischen Fluida in den Molekülen* erklärt werden können, dass aber wohl die von AMPÈRE angenommene *Drehbarkeit der Moleküle* zu ihrer Erklärung genügt.

In dem *zweiten* Theile sind die übrigen mit den nämlichen Nadeln ausgeführten Beobachtungen zusammen gestellt worden, welche zu einer genauen Bestimmung des absoluten Werthes $T$ der *Intensität* des horizontalen Erdmagnetismus in Göttingen erforderlich waren, und es hat sich daraus ergeben für

$$1853. \text{ Juli } 29. \quad T = 1{,}8014.$$

Wollte man die im ersten Theile bestimmte Aenderung des Nadelmagnetismus vernachlässigen, so würde man

$$T = 1{,}8065$$

erhalten. Mit Zuziehung der früheren Messungen erhält man für den Zeitraum von 1834—1853, wenn $t$ die Jahrzahl bezeichnet:

$$T = 1{,}78\,445 + 0{,}001\,785 \,.\, (t - 1844{,}066).$$

Fügt man die aus früheren Beobachtungen entnommenen Bestimmungen der *Deklination*

$$\delta = 17^0\,49'\,15{,}4'' - 459{,}95''\,(t - 1844{,}066)$$

und der *Inklination*

$$i = 67^0\,36'\,35{,}75'' - 138{,}16''\,(t - 1844{,}066)$$

hinzu, so lassen sich die *rechtwinkeligen Komponenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen für den Zeitraum von* 1834—1853 bestimmen, nämlich in horizontaler Richtung nach dem astronomischen Meridian:

$$X = 1{,}6988 + 0{,}00\,292\,(t - 1844{,}066);$$

in horizontaler Richtung senkrecht gegen den astronomischen Meridian:

$$Y = 0{,}5461 - 0{,}00\,324\,(t - 1844{,}066);$$

in vertikaler Richtung:

$$Z = 4{,}3316 - 0{,}00\,391\,(t - 1844{,}066).$$

Die Beobachtungen der *Variationen* der Intensität des horizontalen Erdmagnetismus, von denen der *dritte* Theil handelt, werden mit dem *Bifilar-Magnetometer* gemacht, dessen Konstruktion und Theorie von Gauss in den „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins in den Jahren 1837 und 1840“ entwickelt worden ist. Es ist daselbst von Gauss in Beziehung auf die Reduktion dieser Beobachtungen wegen Aenderungen des Stabmagnetismus Folgendes bemerkt worden:

„Die Veränderlichkeit des Verhältnisses der magnetischen Direktionskraft zur statischen beim Bifilar-Magnetometer beruht auf einem dreifachen Grunde.

„Erstlich auf der fortwährenden Veränderlichkeit der Intensität des horizontalen Erdmagnetismus; zweitens auf der Veränderlichkeit der Temperatur, welche nicht allein die Lineargrössen der Länge und Entfernung der Aufhängungsfäden afficirt, sondern zugleich den Stabmagnetismus; drittens auf der Veränderlichkeit des Stabmagnetismus unabhängig von dem jedesmaligen Temperaturzustande.

„In Beziehung auf die dritte Ursache sind unsere Kenntnisse bisher noch ziemlich unvollkommen. . . . Unter solchen Bedingungen wird es verstattet sein müssen, den magnetischen Zustand eines Magnetstabes — wenn wir mit dieser Benennung sein auf eine bestimmte Normaltemperatur reducirtes magnetisches Moment bezeichnen — während einer mässigen Zeit, z. B. einiger Tage, wie konstant zu betrachten, und wenn nach einem längeren Zeitraume eine entschiedene Abnahme gefunden wird, für die Zwischenzeit eine stetige Verminderung in geometrischer Progression zum Grunde zu legen. Die Ausführung des vom Professor Weber in dem weiter unten folgenden Aufsatze mitgetheilten Vorschlages scheint vorzüglich dazu geeignet, über diesen interessanten Gegenstand Licht zu verbreiten.“

Der hier von Gauss erwähnte Vorschlag: „die Variationen des Stabmagnetismus beim Bifilar-Magnetometer unabhängig von der Kenntniss der Temperatur zu bestimmen“ findet sich in dem angeführten Bande der Resultate vom Jahre 1840, S. 35—45, beschrieben;[1]) es scheint aber derselbe bisher noch nirgends zur wirklichen Ausführung gebracht worden zu sein, was seinen Grund darin haben dürfte, dass die Nadeln der meisten Bifilar-Magnetometer zu diesem Zwecke zu schwach sind und die Höhe für ihre Aufhängung zu beschränkt. Man darf aber erwarten, dass solche Hindernisse beseitigt werden, wenigstens in den eigens eingerichteten Observatorien, wo auf die regelmässige und genaue Ausführung der Beobachtungen des Erdmagnetismus

---

[1]) [Wilhelm Weber's Werke, Bd. II, p. 190.]

fortwährend viel Zeit und grosse Kosten verwandt werden, sobald nur der praktische Erfolg des erwähnten Vorschlages vollkommen gesichert erscheint. Der Verfasser hat daher die günstigen Umstände, die sich ihm in den letzten Jahren dazu boten, benutzt, um jenen Vorschlag zur Ausführung zu bringen, und der Erfolg hat alle Erwartungen, die man davon irgend hegen konnte, auf das vollkommenste bestätigt, wovon die am Ende der Abhandlung mitgetheilten Beobachtungen und deren graphische Darstellung einen augenscheinlichen Beleg geben.

sieben Schriften von Wilhelm Weber über die *Elektrodynamischen Maassbestimmungen,* sowie denjenigen der in ihren Berichten erschienenen kleineren Aufsätze genehmigt. Die Erben von Rudolph Kohlrausch haben der Aufnahme der mit jenem gemeinsam verfassten Arbeiten gern zugestimmt.

Nach dem im Juni 1891 erfolgten Tode Wilhelm Weber's sind dessen Papiere durchgesehen worden, und es hat sich literarischer Nachlass vorgefunden, welcher die *Elektrodynamik* betrifft. Derselbe wird bei den zugehörigen Untersuchungen in den gesammelten Werken veröffentlicht werden.

Wilhelm Weber's gesammelte Werke werden in 6 Bänden erscheinen, und zwar wird enthalten:

Band I: **Akustik, Mechanik, Optik und Wärmelehre.** Besorgt durch Woldemar Voigt (Göttingen).

Band II: **Magnetismus.** Besorgt durch Eduard Riecke (Göttingen).

Band III und IV: **Galvanismus und Elektrodynamik.** Besorgt durch Heinrich Weber (Braunschweig).

Band V: **Wellenlehre auf Experimente gegründet.** Besorgt durch Eduard Riecke (Göttingen).

Band VI: **Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.** Besorgt durch Friedrich Merkel (Göttingen).

**Die Kommission**
für die Herausgabe der Werke Wilhelm Weber's.
**E. Schering**, Vorsitzender.

# Verlag von Julius Springer in Berlin N.

## Michael Faraday:

**Experimental-Untersuchungen über Elektricität.** Deutsche Uebersetzung von Dr. S. Kalischer, Privatdocenten an der Technischen Hochschule zu Berlin. In 3 Bänden. Mit in den Text gedruckten Abbildungen und Tafeln.
I. Band. Preis M. 12,—; geb. M. 13,20. II. Band. Preis M. 8,—; geb. M. 9,20. III. Band. Preis M. 16,—; geb. M. 17,20.

## M. Fourier:

**Analytische Theorie der Wärme.** Deutsche Ausgabe von Dr. B. Weinstein. Mit 21 in den Text gedruckten Holzschnitten. Preis M. 12,—; geb. M. 13,20.

## Carl Friedrich Gauss:

**Untersuchungen über höhere Arithmetik.** (Disquisitiones arithmeticae. Theorematis arithmetici demonstratio nova. Summatio quarumdam serierum singularium. Theorematis fundamentalis in doctrina de residuis quadraticis demonstrationes et ampliationes novae. Theoria residuorum biquadraticorum, commentatio prima et secunda. Etc.) Deutsch herausgegeben von H. Maser.
Preis M. 14,—; geb. M. 15,40.

**Allgemeine Untersuchungen über die unendliche Reihe**

$$1 + \frac{\alpha\beta}{1.\gamma}x + \frac{\alpha(\alpha+1)\beta(\beta+1)}{1.2.\gamma(\gamma+1)}xx + \frac{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)\beta(\beta+1)(\beta+2)}{1.2.3.\gamma(\gamma+1)(\gamma+2)}x^3 + \text{u. s. w.}$$

Mit Einschluss der nachgelassenen Fortsetzung aus dem Lateinischen übersetzt von Dr. Heinrich Simon. Preis M. 3,—.

## J. L. Lagrange:

**Analytische Mechanik.** Deutsch herausgegeben von Dr. H. Servus. Preis M. 16,—; geb. M. 17,20.

## E. Mascart und J. Joubert:

**Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus.** Autorisirte deutsche Uebersetzung von Dr. Leopold Levy. In 2 Bänden. Mit zahlreichen in den Text gedruckten Abbildungen.
Preis M. 30,—; geb. M. 32,40.

## Émile Mathieu:

**Theorie des Potentials und ihre Anwendungen auf Elektrostatik und Magnetismus.** Autorisirte deutsche Ausgabe von H. Maser. Mit 18 in den Text gedruckten Figuren. Preis M. 10,—.

## James Clerk Maxwell:

**Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus.** Autorisirte deutsche Uebersetzung von Dr. B. Weinstein. In 2 Bänden. Mit zahlreichen Holzschnitten und 21 Tafeln. Preis M. 26,—; geb. M. 28,40.

## H. Poincaré:

**Elektricität und Optik.** Vorlesungen. Autorisirte deutsche Ausgabe von Dr. W. Jaeger und Dr. E. Gumlich. In 2 Bänden. Band I: Die Maxwell'schen Theorien und die elektromagnetische Lichttheorie. Mit 39 in den Text gedruckten Figuren. Preis M. 8,—.
Band II: Die Theorien von Ampère und Weber. Die Theorie von Helmholtz und die Versuche von Hertz. Mit 15 in den Text gedruckten Figuren. Preis M. 7,—.

## H. A. Schwarz:

**Gesammelte mathematische Abhandlungen.** In zwei Bänden. Mit zahlreichen Textfiguren und 4 Tafeln.
Preis M. 25,—; geb. M. 28,—.

## Werner Siemens:

**Wissenschaftliche und technische Arbeiten.** I. Band: Wissenschaftliche Abhandlungen und Vorträge. Mit in den Text gedruckten Abbildungen und dem Bildniss des Verfassers. Zweite Auflage.
Preis M. 5,—; geb. M. 6,20.
II. Band: Technische Arbeiten. Mit 204 in den Text gedruckten Abbildungen. Zweite Auflage.
Preis M. 7,—; geb. M. 8,20.

## William Thomson:

**Gesammelte Abhandlungen zur Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus.** (Reprint of Papers on Electrostatics and Magnetism.) Autorisirte deutsche Ausgabe von Dr. L. Levy und Dr. B. Weinstein. Mit 59 in den Text gedruckten Abbildungen und 3 Tafeln. Preis M. 14,—; geb. M. 15,20.

## J. Violle:

**Lehrbuch der Physik.** Deutsche Ausgabe von Dr. E. Gumlich, Dr. L. Holborn, Dr. W. Jaeger, Dr. D. Kreichgauer, Dr. St. Lindeck. Mit zahlreichen in den Text gedruckten Figuren.
I. Theil: Mechanik. Erster Band: Allgemeine Mechanik und Mechanik der festen Körper.
Preis M. 10,—; geb. M. 11,20.
(Band II: „Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper" befindet sich unter der Presse.)

## Karl Weierstrass:

**Abhandlungen aus der Functionenlehre.** Preis M. 12,—; geb. M. 13,20.

— *Zu beziehen durch jede Buchhandlung.* —


Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Schinne

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Weber, Wilhelm,

Werke Herausgegeben von der K. Gesellschaft der Wissenschaften zur Gö
ttingen

Bd.: 2

1892

4 Phys.g. 178 s-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11521558-7